

Física

Volume 9



Sumário



Acesse o livro digital e conheça os objetos digitais e slides deste volume.

17

Movimento harmônico simples e Ondulatória.....

4

Movimentos periódicos	5
Movimento harmônico simples	8
Movimento pendular	13
Conceitos fundamentais da Ondulatória	16
Ondas	22
Fenômenos ondulatórios	24

18

Acústica.....

41

Características do som	43
Fenômenos acústicos	48
Ondas estacionárias	54

O projeto gráfico atende aos objetivos da coleção de diversas formas. As ilustrações, os diagramas e as figuras contribuem para a construção correta dos conceitos e estimulam um envolvimento ativo com temas de estudo. Sendo assim, fique atento aos seguintes ícones:



Coloração artificial



Formas em proporção



Fora de escala numérica



Coloração semelhante ao natural



Imagem microscópica



Imagem ampliada



Fora de proporção



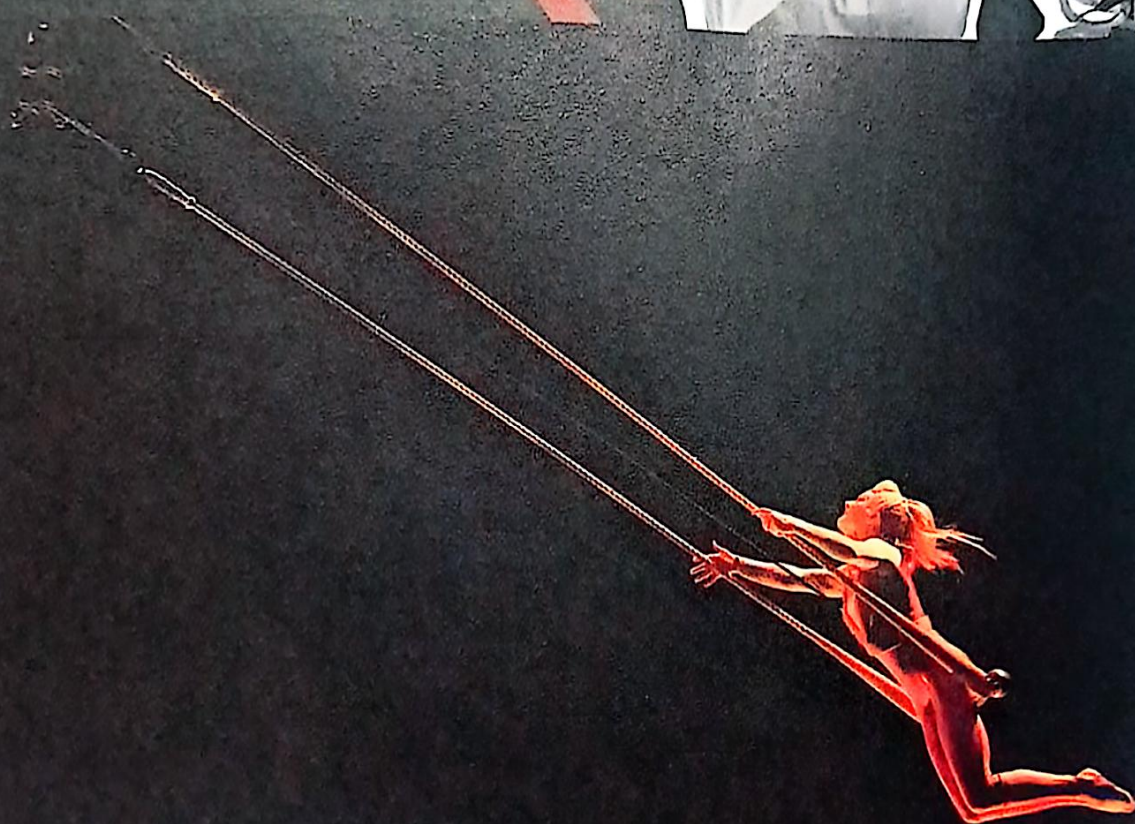
Escala numérica



Representação artística

17

Movimento harmônico simples e Ondulatória



Getty Images/WireImage/Joseph O'Keefe



Ponto de partida

O número do trapézio é uma das principais atrações em um circo. Nesse número, o artista se movimenta pendurado ou sobre o trapézio (bastão sustentado por duas cordas) e realiza diversas acrobacias, como rotações, saltos, trocas de aparelhos, etc.

1. Supondo que a acrobata da imagem esteja parada, o que a faz entrar em movimento?
2. Quais são as principais características do movimento de um trapezista?
3. O que ocorre com o movimento do trapezista ao reduzir o comprimento da corda? E se aumentar o número de trapezistas sobre o aparelho?

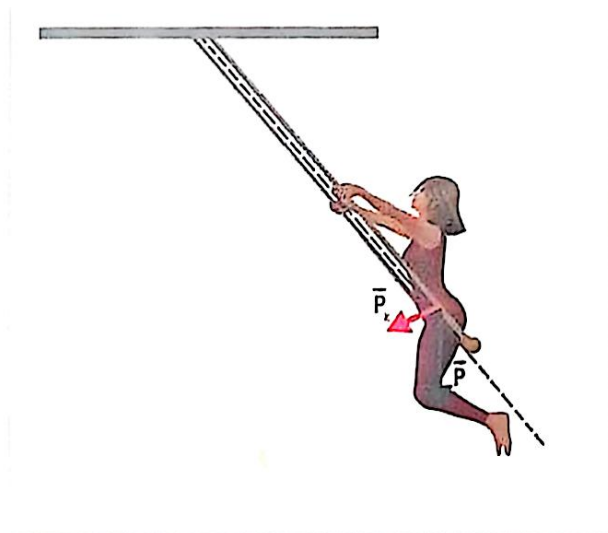
Objetivos da unidade:

- compreender o que são movimentos periódicos;
- determinar o período e a frequência de movimentos periódicos;
- identificar as grandezas de movimentos periódicos;
- relacionar as características de uma onda;
- analisar e diferenciar os fenômenos ondulatórios;
- resolver situações-problema que envolvam Ondulatória.

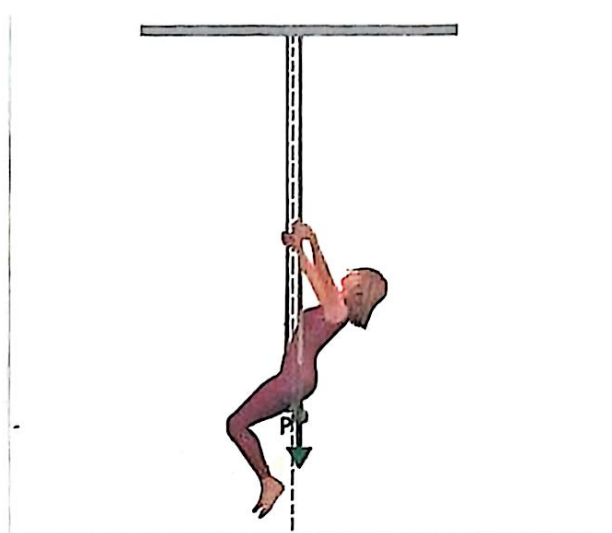
Movimentos periódicos

Na seção Ponto de partida, observa-se o movimento de uma artista circense em um trapézio. Uma das principais características desse movimento é que ele se repete ao longo do tempo.

- No início do movimento, a trapezista deve estar deslocada da posição mais baixa, a determinada altura, para ser impulsionada pelo momento da força peso.
- Ao chegar à posição mais baixa do movimento, a trapezista tem velocidade máxima. A partir dessa posição, sua velocidade se reduz até atingir o ponto mais alto.



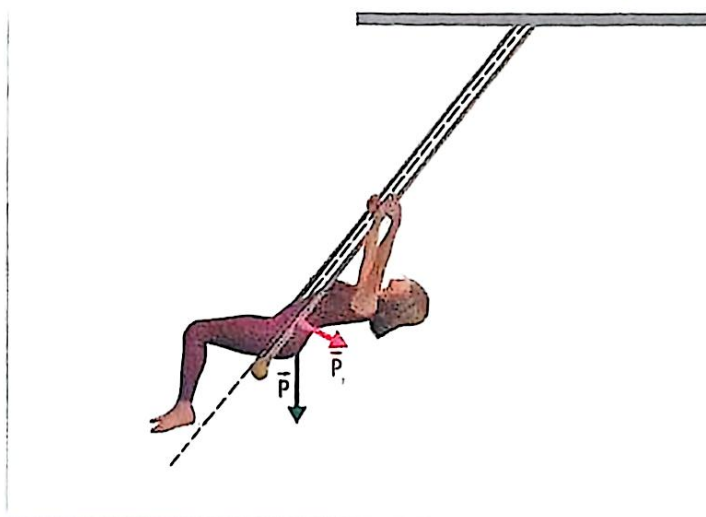
▶ No ponto mais alto do movimento, a trapezista é acelerada pela força resultante de módulo P_r .



▶ No ponto mais baixo do movimento, a trapezista alcança sua velocidade máxima.

- Após chegar à posição mais alta, a trapezista para e, em decorrência da força peso, volta a acelerar no sentido oposto, retornando à posição inicial do movimento e completando a oscilação.

▶ Após passar pelo ponto mais baixo do movimento, a trapezista desacelera até atingir, novamente, a posição mais elevada.



$$M = 10^6$$

Para transformarmos o P.m em Hertz, basta dividir a Volts por 60.

1 Hertz é igual a 60 revoluções por minuto, já que 1 Min = 60 s.

1 Hz = 60 rpm

Em diversas outras situações, observamos movimentos que se repetem ao longo do tempo: o movimento de translação dos planetas em torno do Sol; o movimento de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo; o movimento de oscilação de um atleta de saltos ornamentais ao se embalar sobre um trampolim; as vibrações das cordas de um violão; as oscilações de uma criança em um balanço; o pêndulo de um relógio, etc.

Esses movimentos, que se repetem ao longo do tempo, são denominados movimentos periódicos. Entre os diversos movimentos periódicos, há os movimentos oscilatórios, caracterizados pelo deslocamento do móvel, ora em um sentido, ora no sentido oposto, em torno de uma posição de equilíbrio estável. O termo oscilação, portanto, indica o movimento executado por um móvel em um percurso completo de ida e volta.

Considerando as imagens do pêndulo do relógio e da pessoa em um balanço, dizemos que o intervalo de tempo que decorre para que eles executem uma oscilação completa é o período.

Movimentos pendulares, como o do pêndulo de um relógio ou o de um balanço, são movimentos oscilatórios.



Para movimentos que ocorrem periodicamente, o período é definido pela razão entre o intervalo de tempo e o número de oscilações:

$$T = \frac{\Delta t}{n}$$

Intervalo de tempo Δt e número de oscilações n .
 Período do movimento oscilatório T .
 Tempo que decorre para que ele execute uma oscilação completa (ida e volta).

Na equação, T representa o período do movimento oscilatório, medido em segundos (s), Δt é o intervalo de tempo, também medido em segundos, e n é o número de oscilações (grandeza adimensional).

Suponha que o pêndulo de um relógio complete 30 voltas em 1 min, ou seja, em 60 s (Δt) são 30 voltas (n). Portanto, seu período é de 2 s.

$$T = \frac{\Delta t}{n} = \frac{60\text{ s}}{30} = 2\text{ s}$$

Agora, se escolhermos um intervalo de tempo e verificarmos o número de oscilações que o pêndulo ou o balanço executa, estaremos definindo a frequência do movimento.

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

A frequência é definida pela razão entre o número de oscilações do móvel e o intervalo de tempo:

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

medida em Hertz (Hz ou s⁻¹)
 frequência do movimento oscilatório
 número de oscilações n
 intervalo de tempo Δt em seg.

Na equação, f representa a frequência do movimento oscilatório, medida em hertz (Hz ou s⁻¹), Δt é o intervalo de tempo em segundos (s) e n é o número de oscilações (adimensional).

Com base nas definições de período e frequência, pode-se constatar a relação inversa entre eles:

$$f = \frac{1}{T} \text{ e } T = \frac{1}{f}$$

Frequência do movimento oscilatório f
 Período T

Relação inversa



escrituras

- a) ☒ O movimento de uma criança em um balanço.
b) ☐ O tempo de vida de um animal.
c) ☐ O ciclo da água.
d) ☒ O movimento do pistão do motor de combustão.
e) ☒ O movimento de translação da Terra.

- Entre os movimentos periódicos assinalados da atividade 1, indique qual(is) é(são) classificado(s) também como movimento(s) oscilatório(s). Justifique sua resposta.

a, Para as propriedades estatísticas das características da população amostral, em uma análise, em uma análise estatística, uma amostra de uma população de indivíduos (ou coisas).

- $$\downarrow T = \frac{\pi}{\Delta \tau}$$

$$F = \frac{\Delta \tau}{n}$$

$$F = 5 \text{ MHz} \times 10^6$$

$$\tau = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{5.10^6 \text{ Hz}} = \frac{1.10^{-6}}{5} = \underbrace{0.2.10^{-6}}_{2.10^{-7}}$$

4. Os veículos de combustão interna operam em ciclos de funcionamento. Normalmente, a frequência está definida em rotações por minuto (rpm).

$$F = \frac{\Delta \tau}{n}$$

aplicação na Pág. 6, Parte
apresenta.

- a) Qual é a frequência dos pistões do motor em Hz?

$$F = \frac{9000}{60} = \frac{900}{6} = \frac{150}{1} = 150 \text{ Hz}$$

- b) Qual é o período, em unidades do SI, dos pistões do motor do carro?

$$C_T = \frac{\Delta z}{n_b}$$

$$T = \frac{1}{F}$$

$$T = \frac{1}{150} = 0,0063 \pi / \text{seg}$$

- a) Justifique por que o movimento de translação da Terra é periódico, mas não oscilatório.

- b) Determine a frequência, em hertz, do movimento da

-  Terra em torno do Sol. (Dado: $T = 365 \text{ dias}, 5 \text{ horas}, 48 \text{ minutos e } 48 \text{ segundos}$) $F \Rightarrow \propto \frac{1}{T^2}$

6. O movimento do pêndulo em um relógio é classificado como periódico e oscilatório. Considerando que, a cada segundo, o pêndulo realiza 2 oscilações, qual é o período de oscilação?

$$F = \frac{m}{\Delta t}$$

$$T = \frac{\Delta T}{n}$$

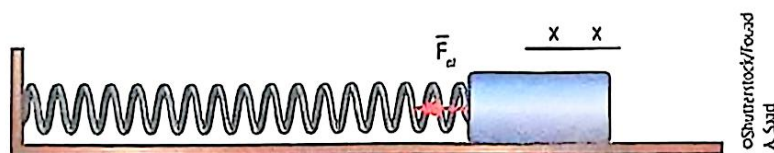
$$\hat{T} = \frac{1}{2} = 0,5_{\text{d}}$$

Tempo

Acilacort

Movimento harmônico simples

O movimento harmônico simples (MHS) é um caso especial dos movimentos oscilatórios. Nele, o móvel descreve uma **trajetória linear**, com **período de oscilação constante**, passando sempre pela **mesma posição inicial**. Um oscilador harmônico pode ser constituído por uma mola (deformada dentro de seu regime de elasticidade linear) acoplada a um corpo de massa m e que não está sujeito a nenhuma força dissipativa, como atrito ou resistência do ar. Esse conjunto é denominado oscilador massa-mola.



À medida que a mola de um oscilador é alongada ou comprimida, ela tende a restituir sua dimensão original e, assim, aplica, no corpo, uma força restituidora; no sentido contrário à deformação. De acordo com a **Lei de Hooke**, a **força restituidora é determinada por:**

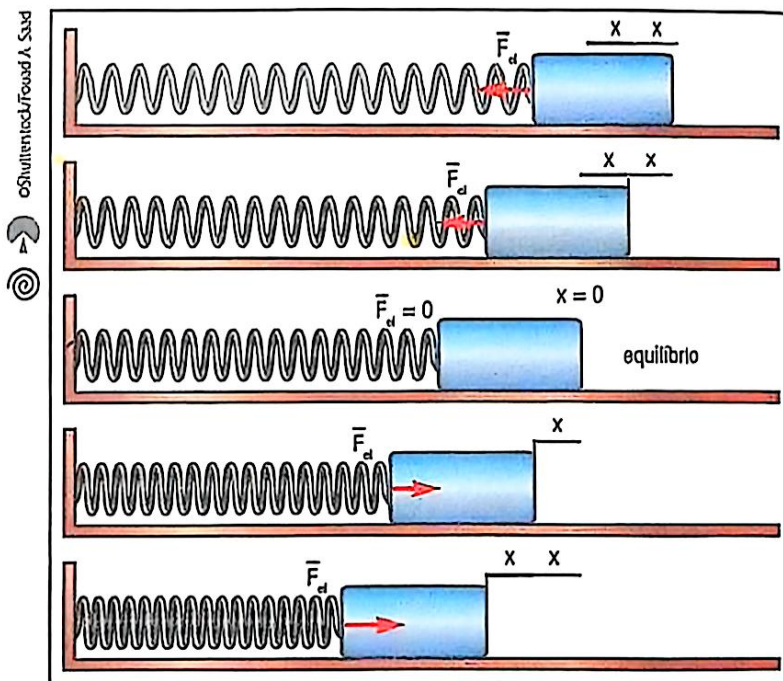
$$F_{el} = -K \cdot \Delta x$$

força elástica *K constante* *deformação*

Após provocar uma deformação inicial $2x$ na mola, **esticando-a** (o que corresponde à **amplitude A do movimento**), e soltar o bloco do repouso, a força elástica acelera o móvel e inicia o movimento oscilatório.

Quando o móvel atinge a posição de equilíbrio ($x = 0$), a mola fica momentaneamente em equilíbrio e, portanto, não há aplicação de força resultante sobre o bloco nesse instante. Nessa posição, o bloco tem **velocidade máxima**.

Depois de o móvel passar pela posição de equilíbrio, a mola passa a ser comprimida e aplica, sobre o



O sistema formado por uma massa e uma mola reproduz um movimento harmônico simples, na ausência de forças não conservativas.

corpo, uma força no sentido oposto ao do movimento, desacelerando o móvel.

O movimento do corpo é desacelerado até que ele pare na posição $-2x$, oposta à posição inicial. Todavia, a força restituidora permanece aplicada ao corpo, na direção da posição de equilíbrio, levando o corpo novamente ao movimento.

Uma oscilação encerra-se quando o corpo retorna à posição inicial, reiniciando o ciclo. Na ausência de perdas mecânicas, o móvel se mantém com a mesma amplitude de movimento a cada oscilação, e o movimento nunca para. Na prática, forças dissipativas – como o arrasto e o atrito – diminuem a energia mecânica e fazem o móvel parar gradualmente.

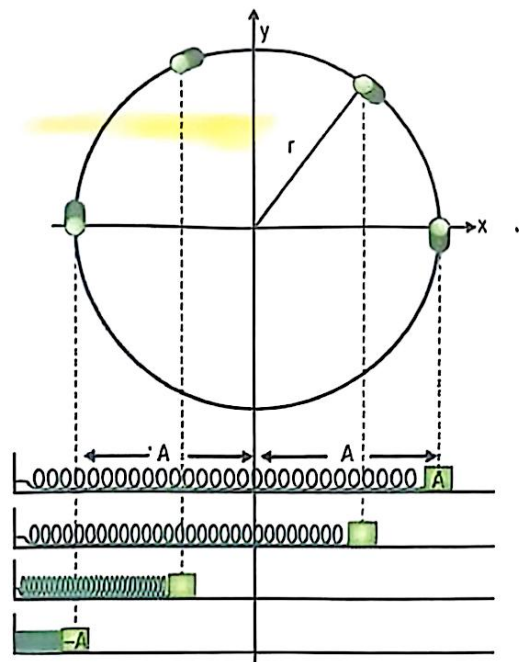


Cinemática do movimento harmônico simples

No estudo dos movimentos uniformes e uniformemente variados, analisam-se descritivamente os movimentos com base no comportamento da posição em função do tempo.

No movimento harmônico simples (MHS), também é possível analisar como a posição do móvel se comporta em função do tempo, ou seja, analisar a função horária da posição de um corpo em MHS.

Para isso, vamos associar o movimento harmônico simples a um movimento circular uniforme. Isso é feito assumindo que um móvel em movimento oscilatório no eixo x é a projeção horizontal de um movimento circular uniforme, como na imagem:



As posições do movimento harmônico simples de um sistema massa-mola podem ser relacionadas à projeção horizontal ou vertical do movimento circular uniforme.

De acordo com a ilustração, percebe-se que o raio do movimento circular representa a amplitude de oscilação do MHS. Durante uma volta do movimento circular, o móvel, no MHS, completa uma oscilação no mesmo intervalo de tempo e, conseqüentemente, tem o mesmo período.

$$T_{MCU} = T_{MHS} = \frac{2\pi}{\omega}$$

velocidade angular

velocidade angular

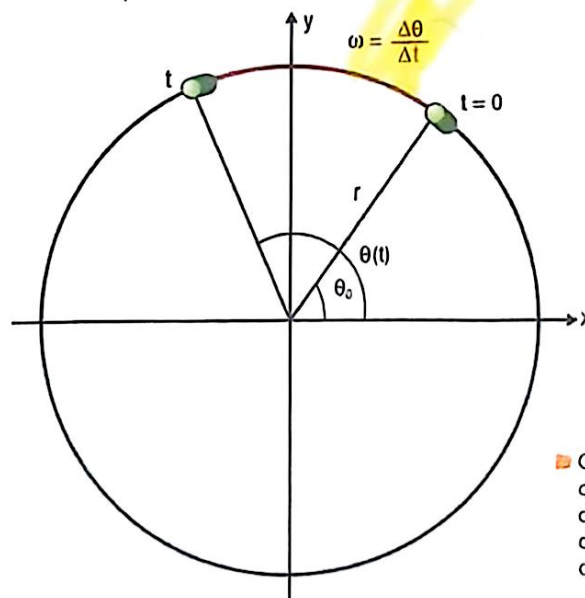
$\frac{2\pi}{\omega}$

Na equação, ω indica a velocidade angular do corpo em movimento circular. No movimento harmônico simples, esse termo é denominado frequência angular ou pulsação.

Função horária da posição do movimento harmônico simples

O movimento de um corpo que oscila em torno de uma posição de equilíbrio é inicialmente caracterizado pelo comportamento de sua posição em função do tempo. Para determinar essa relação, vamos considerar um móvel em movimento circular uniforme de raio R, com velocidade angular ω e posição angular inicial θ_0 . A posição angular do corpo em função do tempo é estabelecida por:

$$\theta(t) = \omega t + \theta_0 \text{ (equação I)}$$



O deslocamento angular ($\Delta\theta$) de um corpo em movimento circular uniforme depende da velocidade angular (ω) e do intervalo de tempo (Δt) em que esse objeto se movimenta.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$A \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$W = \frac{1}{2} \omega^2$$

Como a posição do corpo em MHS corresponde à projeção horizontal do corpo em MCU, a posição x é igual ao cateto adjacente em relação ao ângulo θ do triângulo retângulo indicado:

$$\frac{x}{A} = \cos \theta \Rightarrow x = A \cdot \cos \theta \text{ (equação II)}$$

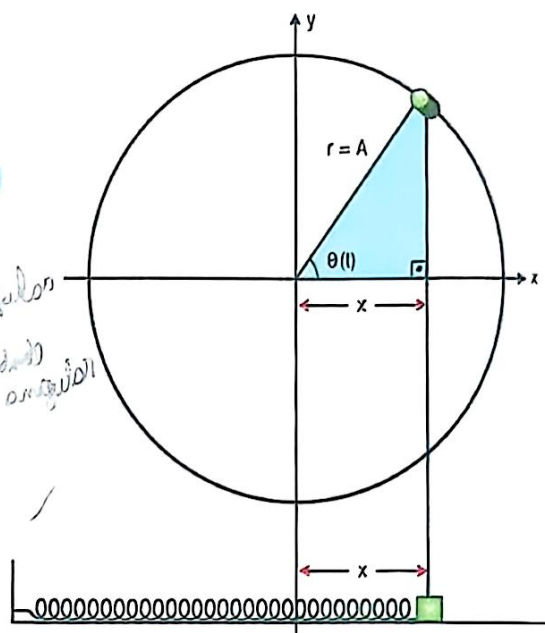
Na equação II, A representa a amplitude do movimento; θ , que no MCU é a posição angular, no MHS é denominado fase do movimento.

Combinando as equações I e II, temos:

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$$

Observe que, para o instante de tempo $t = 0$, a posição $x(t)$ é definida por $x_0 = A \cdot \cos(\theta_0)$, em que θ_0 é denominado fase inicial do movimento. Por exemplo, se a amplitude do movimento for de 0,10 m (10 cm), temos:

$$x_0 = 0,10 \cdot \cos(\theta_0)$$

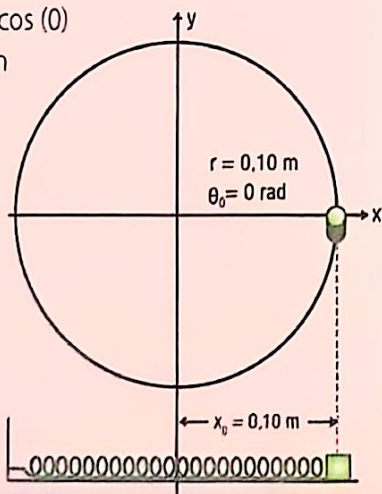


A posição x de uma partícula em movimento harmônico simples pode ser determinada pela projeção horizontal da posição de um objeto em movimento circular uniforme.

Caso 1: para $\theta_0 = 0 \text{ rad}$

$$x_0 = 0,10 \cdot \cos(0)$$

$$x_0 = 0,10 \text{ m}$$

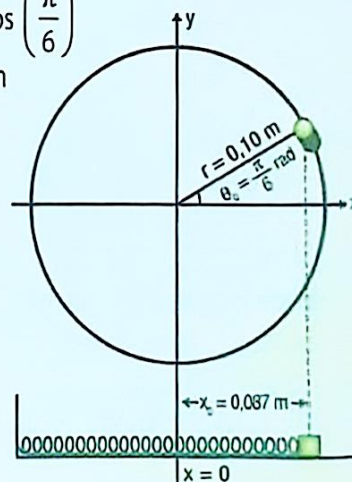


$\theta_0 = 0 \text{ rad}$ significa que o móvel parte da posição em que a amplitude é máxima no sentido positivo do movimento.

Caso 2: para $\theta_0 = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$

$$x_0 = 0,10 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)$$

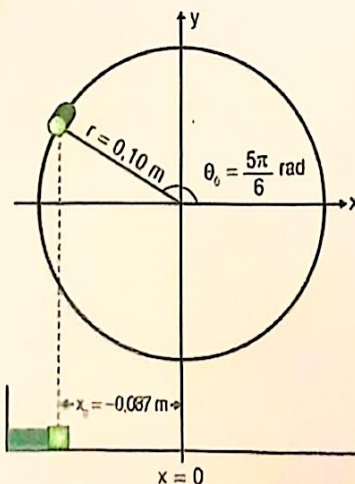
$$x_0 = 0,087 \text{ m}$$



Caso 3: para $\theta_0 = 5 \cdot \frac{\pi}{6} \text{ rad}$

$$x_0 = 0,10 \cdot \cos\left(5 \cdot \frac{\pi}{6}\right)$$

$$x_0 = -0,087 \text{ m}$$



Impulso n12

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

massa
constante elástica

Período do movimento harmônico simples

Em movimentos oscilatórios, uma força provoca a oscilação que atua ora em um sentido, ora no sentido contrário. Essa força de restituição condiciona o corpo a se movimentar em torno de uma posição de equilíbrio, e, quanto maior seu afastamento em relação a essa posição, maior é essa força.

No sistema massa-mola, como vimos, a força restituidora é a força elástica. Quanto maior for essa força – o que está diretamente associado à constante de elasticidade da mola –, maior é a aceleração do sistema para o ponto de equilíbrio. Consequentemente, quanto maior a constante de elasticidade da mola, mais rapidamente ocorre a oscilação e menor é o período do sistema.

Quanto maior a elasticidade da mola, mais rapidamente ocorre a oscilação e menor é o período do sistema.

Em contrapartida, quanto maior a massa da partícula presa à mola, maior é a inércia do sistema e menor é sua aceleração para o ponto de equilíbrio. Consequentemente, quanto maior a massa da partícula, mais lentamente ocorre a oscilação e maior é o período do MHS.

Com base nessas considerações, observa-se que o período do movimento de um corpo preso a uma mola depende da constante elástica da mola e da massa do corpo, sendo determinado pela seguinte expressão:

Período;
medido em s
T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}

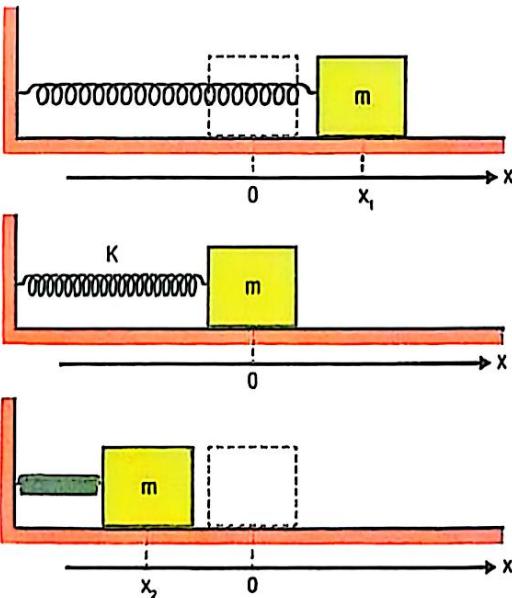
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

massa do corpo
constante elástica da mola

Na equação, T representa o período, medido em segundos (s), do oscilador massa-mola; m e k são, respectivamente, a massa do corpo e a constante elástica da mola.

Atividades

1. O sistema massa-mola representado a seguir realiza um movimento harmônico simples.



Com base nessa informação, defina os conceitos a seguir.

- a) Elongação:

Variação no comprimento da mola

amplitude $\leftarrow \rightarrow$ amplitude
ponto de partida.

- b) Amplitude:

Do ponto de equilíbrio até uma das extremas.

- c) Período: $\rightarrow$ intervalo de tempo necessário para se realizar uma oscilação.
Tempo necessário para repetir o movimento.

- d) Frequência:

número de oscilações realizadas num intervalo de tempo.

2. Uma massa está presa a uma mola. O conjunto passa a realizar um MHS quando uma força de módulo igual a 4,0 N causa uma deformação de 8,0 cm na mola. Desprezando as forças dissipativas e sabendo que a frequência angular vale 5,0 rad/s, determine o que se pede a seguir.

- a) A constante elástica da mola:

$$F_{el} = F_{ext}$$

$$F = k \cdot x$$

$$F_{el} = -k \cdot x$$

$$F = -k \cdot x$$

$$\frac{4}{8 \cdot 10^{-2}} = \frac{4}{8} \cdot 10^2 = \frac{1}{2} \cdot 10^2 = 50 \text{ N/m}$$

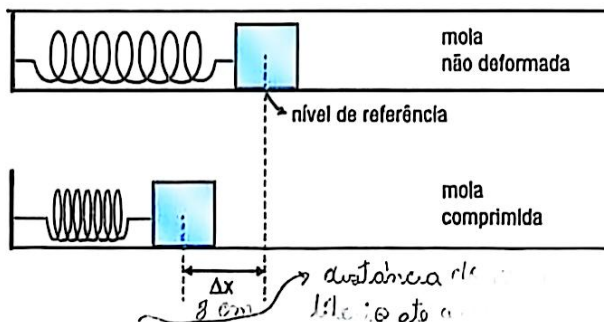
b) O período do movimento:

$$T_{MEU} = T_{MHS} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{5} \approx 1,26 \text{ s}$$

c) A massa do sistema:

$$\frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \Rightarrow 5 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4\pi^2}{m}}} \Rightarrow m = 4 \text{ kg}$$

3. Um bloco de massa igual a 0,25 kg está sobre uma superfície horizontal e perfeitamente lisa. O bloco é preso a uma mola de constante elástica $K = 4\pi^2 \text{ N/m}$ e é empurrado por uma força externa que comprime a mola em 8,0 cm. Ao soltar o sistema, ele passa a executar um MHS. Determine as solicitações abaixo.



a) Amplitude de oscilação:

$$8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

b) Período do movimento:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,25}{4\pi^2}} = 1 \text{ s}$$

c) Módulo da força elástica nos pontos de amplitude máxima:

$$F = k \cdot \Delta x = 4\pi^2 \cdot 0,08 = 1,0 \text{ N}$$

d) Módulo da aceleração máxima:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1,0}{0,25} = 4 \text{ m/s}^2$$

4. As funções horárias a seguir representam o MHS de um ponto material sobre um eixo Ox. Para cada uma das situações, determine:

- a amplitude;
- a frequência angular ou pulsação;
- a fase inicial;
- o período.

a) $x(t) = 0,6 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}t + \pi\right)$

$\Rightarrow 0,6$
 $\Rightarrow \frac{\pi}{3}$
 $\Rightarrow \pi$

$$\frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{3}} = 6 \text{ s}$$

b) $x(t) = 0,1 \cdot \cos\left(\pi t + \frac{3\pi}{2}\right)$

$\Rightarrow 0,1$
 $\Rightarrow \pi$
 $\Rightarrow \frac{3\pi}{2}$

$$\frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\pi} = 2 \text{ s}$$

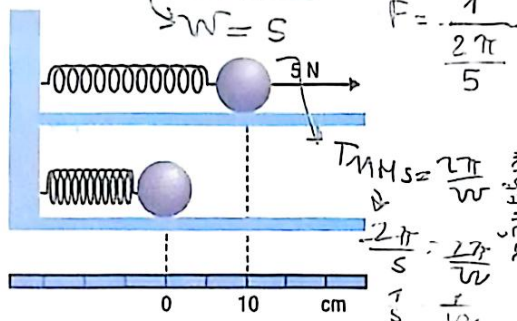
c) $x(t) = 0,4 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right)$

$\Rightarrow 0,4$
 $\Rightarrow \frac{\pi}{2}$

$\Rightarrow 4$
 $\Rightarrow \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{2}} = 4 \text{ s}$

$F_{el} = 5N$
 $\Delta x = 10cm$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{2}{50}}$
 $T = 2\pi \cdot \frac{1}{5} = \frac{2\pi}{5} = 7$
 $F_{el} = -k \Delta x$
 $5 = -k \cdot 10cm$
 $k = 0,1$
 $\Delta x = 14 - 10 = 4cm$
 $-k = \frac{5}{10} = 0,5$
 $-k = 50$

5. Uma esfera de massa igual a 2,0 kg está presa a uma mola helicoidal, como ilustrado a seguir. Ao realizar uma força de 5,0 N, a mola passa a oscilar, realizando um MHS de amplitude igual a 10 cm. Determine o período e a frequência angular do movimento.



a) Qual é a amplitude do MHS?

$\Delta x = 14 - 10 = 4cm$
 deformação

b) Qual é a constante elástica do cacho?

$F_{el} = -k \Delta x$
 $0,10 - 0,08 = \frac{F}{k}$
 $\Delta x = 0,02$
 $0,05 = -k \cdot 0,02$
 $-k = \frac{0,05}{0,02} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-2}} = \frac{5}{2} = 2,5 N/m$
 $F_1 = 0,05 N$
 $F_2 = m \cdot g$
 $F_2 = 0,005 kg \cdot 10$
 $F_2 = 0,05 N$
 $-k = \frac{0,05}{0,02} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-2}} = \frac{5}{2} = 2,5 N/m$

c) Qual é o período do MHS? E a frequência?

$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{0,005 kg}{2,5}}$
 $T = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^1}} = 6,28 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^1}} = \frac{6,28}{1} \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^1}} = T = 0,28s$
 $F = \frac{1}{0,28} = F = 3,57 Hz$

6. Maria está fazendo cachos no cabelo de sua filha. Em um dos cachos, com 8 cm de comprimento, Maria prende uma miçanga de 5 g. Esse adereço estica o cacho até que ele atinge o comprimento de 10 cm.

Ao passar a mão pelo cabelo, a filha de Maria estica o cacho até que este atinja 14 cm de comprimento. Ao soltá-lo, é possível perceber que o cacho realiza um MHS por alguns instantes. Desconsiderando as forças dissipativas e sabendo que o cacho pode ser considerado uma mola helicoidal, responda às questões.

o ponto de equilíbrio ponto de sem balanço
a mola de 5g de miçanga

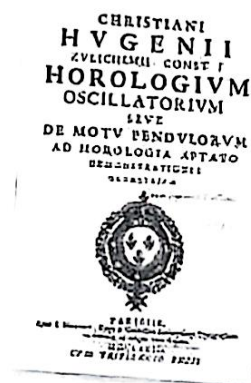
Movimento pendular → massa desprezível

Atualmente, utilizamos relógios de quartzo ou relógios digitais para medir intervalos de tempo com precisão. No entanto, antes do desenvolvimento da tecnologia eletroeletrônica, o ser humano media intervalos de tempo de inúmeras outras maneiras. Utilizavam-se relógios solares, de água, ampulhetas, pêndulos, entre outros.

A regularidade do período de tempo dos pêndulos foi percebida por Galileu Galilei. Desde então, os pêndulos passaram a ser amplamente utilizados como relógios e cronômetros. Conta-se que Galileu, quando cursava o 1º ano de Medicina na Universidade de Pisa, percebeu que as oscilações do lustre da Catedral daquela cidade tinham sempre o mesmo período para qualquer abertura de oscilação. Com base nessa observação e em alguns experimentos, Galileu sugeriu que o pêndulo poderia ser utilizado para controlar o tempo.

Entretanto, foi o astrônomo, matemático e físico neerlandês Christiaan Huygens (1629-1695) quem inventou o relógio de pêndulo, em 1656. Uma descrição detalhada de seu mecanismo de funcionamento encontra-se na obra *Horologium*, publicada pela primeira vez em 1673.

Pêndulos são sistemas constituídos por uma partícula de massa m ligada a um fio inextensível, de comprimento L e massa desprezível, o qual, por sua vez, é ligado a um ponto fixo. Ao retirar o pêndulo de sua posição de equilíbrio, deslocando-o em relação à vertical, e soltando-o do repouso, a partícula descreve um movimento oscilatório, passando periodicamente pela posição de equilíbrio e retornando, no caso ideal de sistemas conservativos, à amplitude inicial.

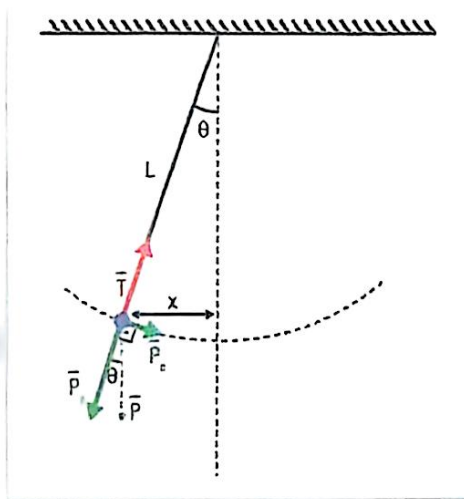


$$2\pi = \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$2\pi = \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$F_{\text{peso}} = m \cdot g$$

Considere uma partícula de massa m ligada a um fio de comprimento L , levemente deslocada em relação à vertical. As forças que atuam sobre essa partícula são: **força de tração** (sempre orientada na direção do fio) e **força peso** (sempre orientada verticalmente para baixo).



O movimento pendular tem comportamento semelhante ao movimento harmônico simples para amplitudes angulares pequenas, em torno de 10° .

Se nos sistemas massa-mola a força restituidora que provoca o **movimento oscilatório** é a **elástica**, nos pêndulos, a **restituição** é provocada pela **componente da força peso** ou, mais propriamente, pelo **momento produzido pelo peso**.

Como a componente do peso na direção do eixo y ($P_y = P \cdot \cos \theta$) é equilibrada pela força de tração, a força resultante, que produz variação de movimento ao sistema, é a componente na direção do eixo x ($P_x = P \cdot \sin \theta$).

Sabendo que o **peso é igual ao produto da massa pela aceleração gravitacional** ($P = m \cdot g$), a **força resultante é**:

$$F_R = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

Para **movimentos de pequena amplitude pendular**, pode-se aproximar o movimento do pêndulo a um MHS de tal modo que $\sin \theta = \frac{x}{L}$, em que x **representa o deslocamento do movimento em relação à posição de equilíbrio**. Substituindo $\frac{x}{L}$ na relação anterior, tem-se:

$$F_R = m \cdot g \cdot \frac{x}{L} \Rightarrow F_R = \frac{m \cdot g}{L} x$$

A expressão acima é **análoga à Lei de Hooke**, que relaciona o módulo da força aplicada por uma mola à sua deformação: $F = K \cdot x$. Assim, na equação do pêndulo, o fator $\frac{m \cdot g}{L}$ é a constante de proporcionalidade K . Por seme-

lhança ao período do sistema massa-mola $\left(T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \right)$

podemos determinar o **período** do pêndulo simples:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{m \cdot g}{L}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

a massa não interfere

Tempo necessário para ocorrer uma oscilação completa

$$T = \frac{\Delta t}{n}$$

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

Atividades

caderno

1. Duas crianças de massas diferentes brincam em um balanço de mesma altura. Elas recebem um empurrão de um adulto, que as coloca para **oscilar** com ângulos inferiores a 10° . Admitindo que cada balanço se comporta como um pêndulo simples e desconsiderando as forças dissipativas, o que podemos afirmar sobre o **período do movimento dos balanços**? Justifique sua resposta.

2. (VUNESP – SP) **Período** de um pêndulo é o intervalo de tempo gasto em uma oscilação completa. Um pêndulo executa **dez oscilações completas** em 9,0 s. Seu **período** é:

a) 0,9 s

c) 9,0 s

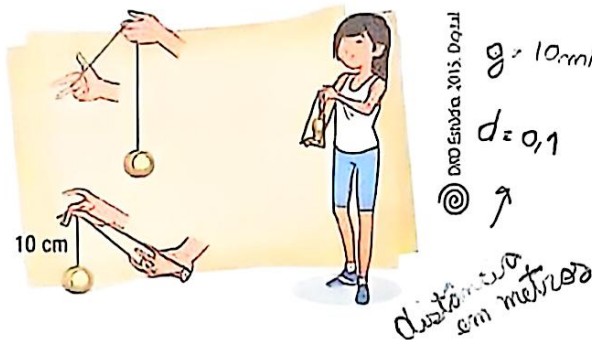
e) 90,0 s

b) 1,1 s

d) 10,0 s

$$\frac{9}{10} = 0,9 \text{ s}$$

3. O ioiô é um brinquedo que permite realizar muitas manobras, entre elas, o "balancinho". Nessa manobra, o ioiô para de realizar o movimento de subida e descida para realizar um movimento pendular. Normalmente, para realizar o movimento pendular, é necessário que o praticante segure o fio do ioiô a 10 cm do brinquedo.



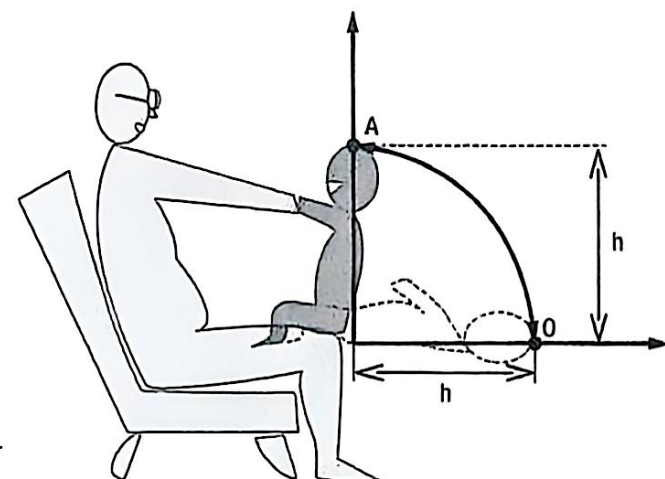
Considerando que a aceleração da gravidade é de 10 m/s², determine o período da oscilação.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow 10 \text{ m/s}^2 \quad T = 6,28 \cdot 0,1$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,1}{10}} \rightarrow 0,628$$

$$T = 6,28 \cdot 10^{-1} \text{ s}$$

4. São dados dois pêndulos simples, A e B, conforme indica a figura. As massas das esferas são, respectivamente, 1 kg e 2 kg. Eles são postos a oscilar, com pequenas amplitudes. Estabeleça a razão $\frac{T_A}{T_B}$ entre os seus períodos.



5. (UNICAMP – SP) Quando uma pessoa idosa passa a conviver com seus filhos e netos, o convívio de diferentes gerações no mesmo ambiente altera a rotina diária da família de diversas maneiras.

a) O acesso do idoso a todos os locais da casa deve ser facilitado para diminuir o risco de uma queda ou fratura durante sua locomoção. Pesquisas recentes sugerem que uma estrutura óssea periférica de um indivíduo jovem suporta uma pressão máxima $P_1 = 1,2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$, enquanto a de um indivíduo idoso suporta uma pressão máxima $P_2 = 2,0 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$. Considere que em um indivíduo jovem essa estrutura óssea suporta uma força máxima $F_1 = 24 \text{ N}$ aplicada sob uma área A_1 e que essa área sob a ação da força diminui com a idade, de forma que $A_2 = 0,8 A_1$ para o indivíduo idoso. Calcule a força máxima que a estrutura óssea periférica do indivíduo idoso pode suportar.

b) Na brincadeira "Serra, serra, serrador. Serra o papo do vovô. Serra, serra, serrador. Quantas tábuas já serrou?", o avô realiza certo número de oscilações com seu neto conforme representado na figura abaixo. Em uma oscilação completa (A-O-A), a cabeça do menino se desloca em uma trajetória circular do ponto A para o ponto O e de volta para o ponto A. Considerando um caso em que o tempo total de duração da brincadeira é $t = 10 \text{ s}$ e a velocidade escalar média da cabeça do menino em cada oscilação (A-O-A) vale $v = 0,6 \text{ m/s}$, obtenha o número total de oscilações (A-O-A) que o avô realizou com o neto durante a brincadeira. Use $h = 50 \text{ cm}$ e $\pi = 3$.

6. O cientista francês Léon Foucault realizou um experimento, em 1852, para demonstrar de modo convincente que a Terra está em rotação. Para isso, ele construiu um pêndulo com massa aproximadamente igual a 30 kg, sustentado por um fio de 67 m de comprimento, colocado na cúpula do famoso Panteon de Paris. Hoje, réplicas desse experimento estão espalhadas em museus de ciências em vários países do mundo.

a) Investigue em sites de centros e museus da ciência de que maneira Foucault explicava o movimento de rotação da Terra.

b) Com base nas informações, calcule o período e a frequência de oscilação do pêndulo de Foucault. Para facilitar as contas, considere o comprimento do fio como sendo 70 m e a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$. (Considere $\sqrt{7} = 2,64$)

$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$
 $2\pi = 6,28$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{70}{10}}$
 $T = 2\pi \sqrt{7}$
 $T = 2\pi \cdot 2,64$
 $T = 16,57 \text{ s}$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{70}{10}}$
 $T = 2\pi \sqrt{7}$
 $T = 2\pi \cdot 2,64$
 $T = 16,57 \text{ s}$

Conceitos fundamentais da Ondulatória

Um dos fatores primordiais para a intensificação do fenômeno denominado globalização é a enorme transformação ocorrida nos meios de comunicação nas últimas décadas. As transmissões via satélite, a internet com Wi-Fi e a telefonia móvel são conquistas relativamente recentes e que conectaram os povos do mundo inteiro. Ainda que isso passe despercebido para a maioria das pessoas, essas tecnologias existem por causa de ondas eletromagnéticas.

Além das situações mencionadas, existem muitas outras em que as ondas estão presentes, como em fornos de micro-ondas, ultrassom, radares, aparelhos de som, sonares e instrumentos musicais. O estudo e a análise de todos esses fenômenos relacionados às ondas e suas propriedades são realizados por uma área da Física denominada de Ondulatória.



As antenas parabólicas são receptores que decodificam as ondas eletromagnéticas incidentes.

$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{70}{10}}$
 $T = 2\pi \sqrt{7}$
 $T = 2\pi \cdot 2,64$
 $T = 16,57 \text{ s}$

Definição de onda

Enquanto aguardam ondas – ou pulsos de ondas – favoráveis para fazer suas manobras, os surfistas costumam ficar sentados sobre a prancha, subindo e descendo, à medida que ondas não tão favoráveis passam por eles.



As ondas no mar são pulsos de onda que se propagam sem deslocamento de matéria até a arrebentação.

Ao observar um surfista por algum tempo – em dias mais calmos, sem correntezas laterais no mar –, nota-se que ele fica apenas oscilando sobre a superfície da água, sem mudar efetivamente de posição (caso não decida “pegar” uma onda). Isso ocorre porque os **pulsos de onda** que se propagam no mar não movimentam a água na direção e no sentido do movimento da onda.

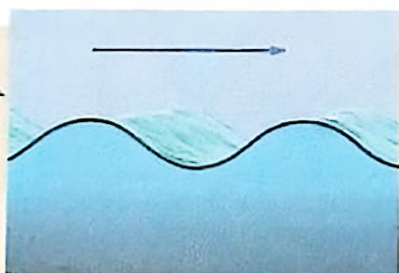
Pulsos de onda são perturbações sem periodicidade (isoladas) que se propagam em um meio sem transportar matéria.

Imagine, agora, uma piscina com uma boia sobre a superfície da água. Ao deixar um objeto cair na água, observa-se a formação de **sucessivos pulsos** que se propagam circularmente a partir do ponto no qual o objeto caiu. A boia, nessa situação, movimenta-se permanentemente para cima e para baixo sem ocorrer um deslocamento horizontal com a passagem dos pulsos. Assim, podemos afirmar que na piscina está se propagando uma sucessão de pulsos denominada de **onda**.



Div. 2015. 3D

- Um objeto que boia sobre a água de uma piscina oscila sem, no entanto, se deslocar após a passagem de pulsos por ele.



Div. 2015. 3D

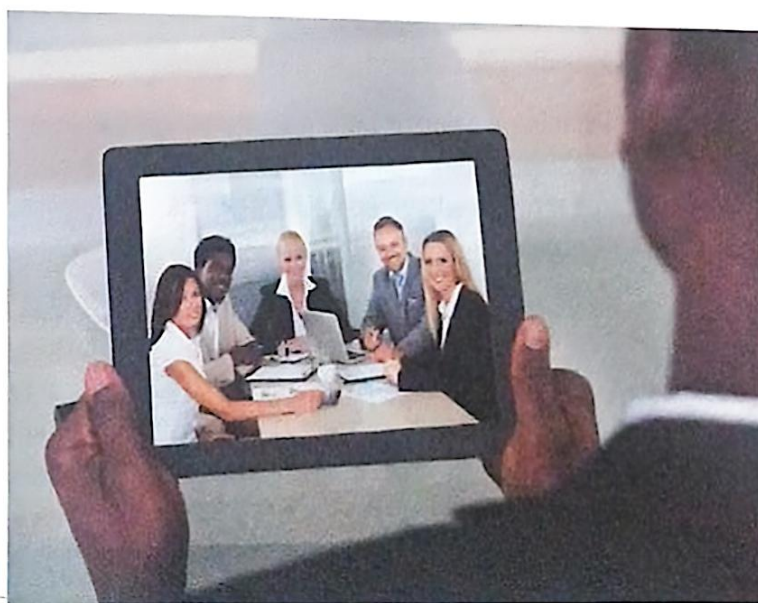
Onda é uma sucessão de pulsos (perturbações periódicas) que se propagam através de um meio transportando energia.

- A sucessão de pulsos periódicos que se propagam em um meio define o que conhecemos como onda.

Classificação de ondas

Com o objetivo de aumentar a eficiência e reduzir os custos, algumas empresas têm investido em reuniões por webconferências. Nesse tipo de reunião, as pessoas podem **ouvir** e **ver** umas às outras via **transmissão digital**.

As três passagens destacadas correspondem a fenômenos ondulatórios que podem apresentar significativas diferenças entre si. Se classificados quanto à **direção de oscilação**, podem ser **longitudinais** ou **transversais**; quanto à **natureza**, podem ser **mecânicos** ou **eletromagnéticos**; quanto à **direção de propagação**, podem ser **unidimensionais**, **bidimensionais** ou **tridimensionais**. A seguir, será realizada uma descrição detalhada dessas categorias.

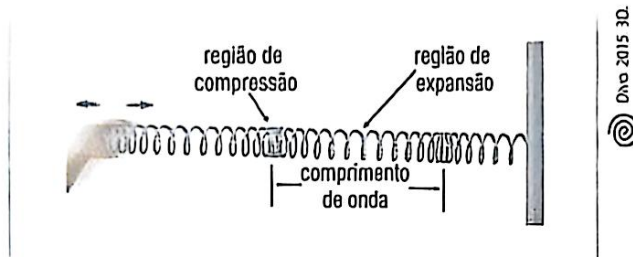


© iStockphoto.com/Andrey Popov

- Em uma webconferência, as pessoas se comunicam via ondas sonoras, luminosas e eletromagnéticas.

Classificação de ondas quanto à direção de oscilação

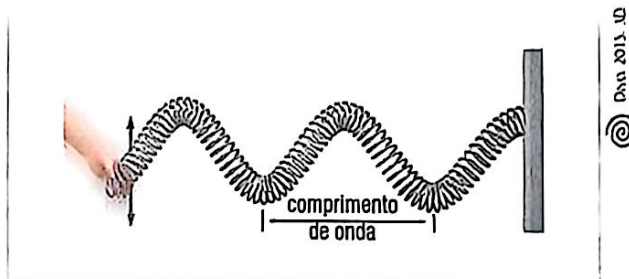
Longitudinal: uma onda é longitudinal quando sua direção de propagação coincide com a direção de vibração do meio. Considere, por exemplo, uma mola helicoidal horizontal na qual uma extremidade é presa a um suporte e a outra extremidade é sustentada por uma pessoa. Em dado instante, a pessoa comprime alguns anéis da mola e, em seguida, os solta.



■ Ondas longitudinais se caracterizam pela direção de oscilação paralela à direção de propagação da onda.

Note que a perturbação produzida nessa mola se propaga e vibra na horizontal. Dessa forma, como a vibração dos pontos da mola e a propagação da onda produzida têm a mesma direção, a onda em questão é do tipo longitudinal.

Transversal: uma onda é transversal quando sua direção de propagação é perpendicular à direção de vibração do meio. Considere uma mola helicoidal, mantida na horizontal, com uma extremidade fixa num suporte e a outra sustentada por uma pessoa. Em dado instante, a pessoa faz alguns movimentos rápidos para cima e para baixo com a mão que está segurando a mola. Esses movimentos formam ondas (perturbações) que se propagam através da mola.



■ Ondas transversais se caracterizam pela direção de oscilação perpendicular à direção de propagação da onda.

A perturbação produzida na mola se propaga na horizontal, enquanto os pontos da mola vibram na vertical (movimento de sobe e desce). Quando a vibração dos pontos da mola são perpendiculares à direção de propagação da onda, ela é definida como transversal.

Classificação de ondas quanto à natureza

Onda mecânica: é o tipo de onda que se propaga apenas em meios materiais (não se propaga no vácuo). É o caso da onda que faz vibrar pontos da superfície da água, do som, das ondas produzidas em uma corda, entre outros. O som, por exemplo, é uma onda longitudinal e mecânica.



■ O equipamento de ultrassonografia emite ondas mecânicas que interagem com a matéria.

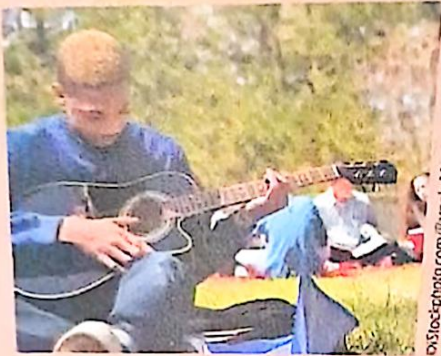
Onda eletromagnética: é o tipo de onda que se propaga em alguns meios materiais e também no vácuo. É o caso das micro-ondas, dos raios X, da luz, das ondas de rádio, dos raios gama, do ultravioleta, do infravermelho e outros. A luz, por exemplo, é uma onda transversal e eletromagnética (por ser eletromagnética, propaga-se tanto no vácuo quanto em certos meios materiais).

É importante saber que ondas mecânicas podem ser longitudinais ou transversais, enquanto as eletromagnéticas só podem ser transversais.

Superfície
água

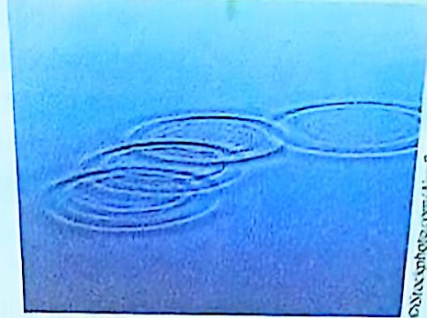
Classificação de ondas quanto à direção de propagação

Unidimensional: nesse caso, a onda se propaga em uma única direção. Exemplo: ondas produzidas em uma corda de violão.



Ao dedilhar uma corda de violão, a onda produzida na corda é transversal, mecânica e unidimensional.

Bidimensional: nesse caso, a onda se propaga em duas dimensões, ou seja, em uma superfície. Exemplo: ondas produzidas na superfície da água.



Ondas que se propagam na superfície da água são transversais, mecânicas e bidimensionais.

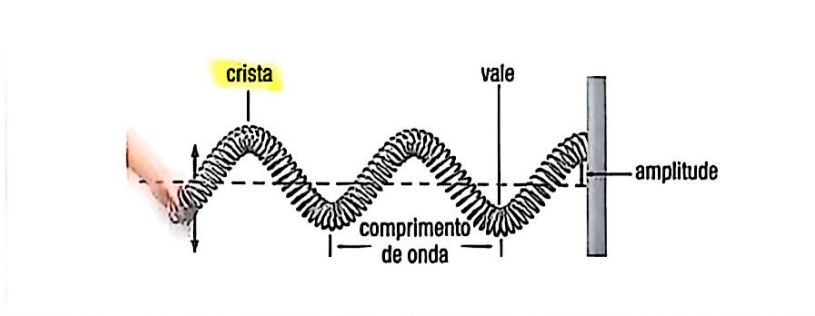
Tridimensional: a onda se propaga no espaço, ou seja, em todas as direções. É o caso das ondas sonoras.



O som é uma onda tridimensional, permitindo que os espectadores de um concerto possam ouvir a música em diversos locais em relação ao palco.

Elementos das ondas

Os diversos tipos de onda estudados na Física apresentam diferentes elementos e características, que estão representados na figura a seguir.



© DW 2013 3D

- **Crista** – corresponde a qualquer ponto da onda acima de sua linha central e cujo afastamento seja máximo em relação a essa linha.
- **Vale** – corresponde a qualquer ponto da onda abaixo de sua linha central e cujo afastamento seja máximo em relação a essa linha.
- **Amplitude (A)** – corresponde à máxima distância de um ponto da onda até sua linha central, ou seja, é a distância de uma crista ou de um vale até a linha central da onda.
- **Comprimento de onda (λ)** – corresponde à distância entre dois pontos consecutivos quaisquer que estejam em fase. Poderia ser duas cristas ou dois vales consecutivos, por exemplo.

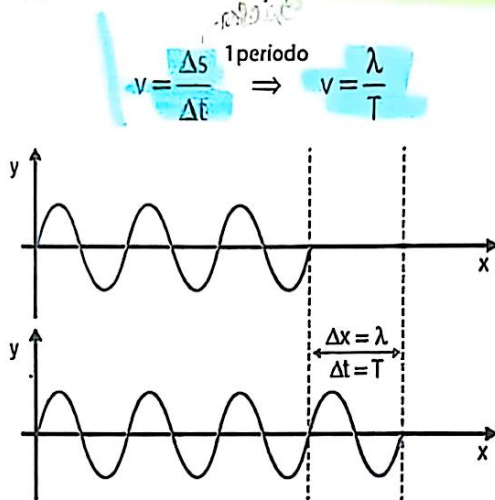
Velocidade de propagação

Conforme a classificação de uma onda quanto à sua forma, a velocidade de propagação pode ser perpendicular (transversal) ou paralela (longitudinal) à direção de vibração dos pontos dessa onda.

É essencial estabelecer a diferença entre a velocidade com que uma onda se propaga e a velocidade com que os pontos do meio (uma mola, no caso do desenho anterior), por exemplo, sobem e descem. Os pontos da mola movem-se verticalmente com velocidades que dependem da posição de cada ponto.

Considerando as definições vistas anteriormente e analisando uma onda que se propaga em determinado meio, para que ela percorra um deslocamento escalar equivalente a um comprimento de onda, o intervalo de tempo corresponde a um período. Supondo que a velocidade de propagação de uma onda é constante, a velocidade em qualquer instante é igual à velocidade média. Assim, de acordo com a definição de velocidade:

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$



Após um intervalo de tempo igual a um período, o deslocamento da onda é igual a um comprimento de onda.

Como o inverso do período é igual à frequência ($f = \frac{1}{T}$), temos a equação fundamental da Ondulatória:

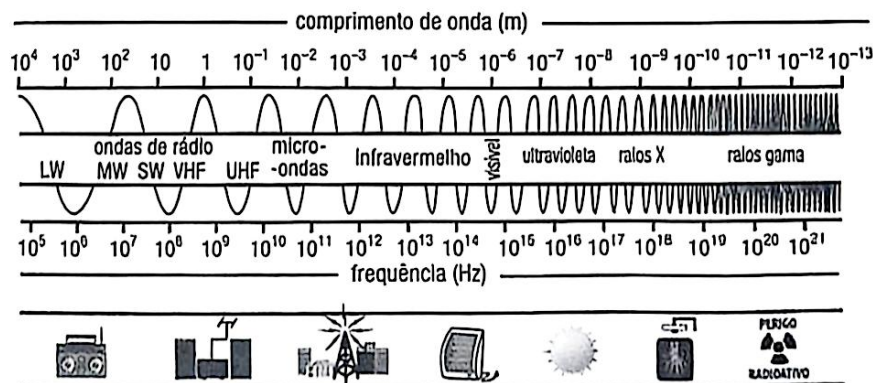
$$v = \lambda \cdot f$$

$f \uparrow \lambda \downarrow$

A velocidade de propagação de uma onda depende do meio em que ela se propaga, assim, para determinado meio, aumentando-se a frequência, o comprimento de onda diminui proporcionalmente. Em outros termos, a frequência de uma onda e seu comprimento são grandezas inversamente proporcionais, supondo as características do meio de propagação constantes.

$$\lambda \propto \frac{1}{f}$$

Sociedade Brasileira de Física



Divisão das ondas eletromagnéticas em faixas de frequência e comprimento de onda (no vácuo)

A velocidade mostrada na relação anterior é a de propagação da onda, e não a de vibração dos pontos do meio. Essa velocidade depende do meio no qual a onda se propaga, ou seja, para diferentes meios, pode haver diferentes velocidades de propagação. Exemplos: o som se propaga no ar com velocidade de aproximadamente 340 m/s e, na água, com velocidade de 1450 m/s.

No caso de ondas que se propagam em cordas tensionadas, a velocidade de propagação de um pulso depende de dois fatores: da tensão aplicada na corda (quanto maior for a tensão, maior é a velocidade de propagação na corda) e da densidade linear da corda (quanto maior é a densidade linear, menor é a velocidade de propagação). A equação que permite determinar a velocidade de propagação de ondas em cordas é denominada Relação de Taylor, em homenagem ao matemático e físico britânico Brook Taylor (1685-1731).

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

T = tensão
μ = densidade linear da corda

Nessa equação, T representa a força de tração aplicada na corda e μ é a densidade linear da corda, isto é, a distribuição de massa (m) por unidade de comprimento (L).

$$\mu = \frac{m}{L}$$

Em relação a ondas eletromagnéticas, sua velocidade no vácuo é constante e igual a $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Nesse caso, a frequência (ou o comprimento de onda no vácuo, que pode ser obtido pela relação $v = \lambda \cdot f$) pode ser utilizada para dividir as ondas eletromagnéticas em faixas em que as propriedades da onda sejam similares. Por exemplo, as ondas de raios X são aquelas ondas eletromagnéticas com frequência entre 10^{17} Hz e 10^{19} Hz, aproximadamente.

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

$$\mu = \frac{m}{L}$$

Atividades

1. Classifique as afirmações a seguir em verdadeiras (V) ou falsas (F):

- () As ondas que os surfistas "pegam" apresentam características diferentes das ondas estudadas na Física.
- (F) Toda onda transporta energia, mas somente algumas transportam matéria.
- (F) Ondas sonoras podem se propagar no vácuo.
- (/) Uma série de pulsos é denominada onda.

2. As ondas do som e da luz têm características distintas. Assinale com a letra S o item que apresenta as características de uma onda sonora e com a letra L o item que apresenta as características de uma onda luminosa.

- (L) eletromagnética e transversal;
- () eletromagnética e longitudinal;
- () mecânica e mista;
- (S) mecânica e longitudinal;
- () mecânica e transversal.

3. (CEFET – PR) Considere a listagem de ondas citada a seguir:

- infravermelho ∈
- raios gama ∈
- ondas de rádio ∈
- ultrassom
- raios X ∈
- ondas luminosas ∈
- micro-ondas ∈
- ultravioleta ∈

Quanto ao critério de classificação das ondas em mecânicas e eletromagnéticas, verifica-se que entre elas existe(m):

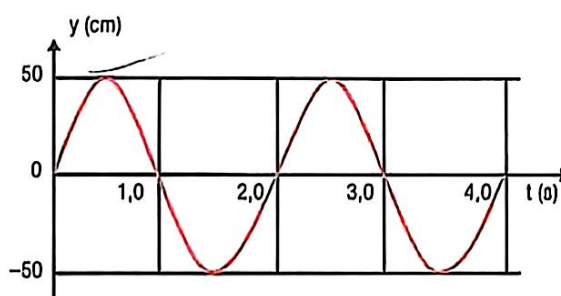
- uma única onda mecânica.
- duas ondas mecânicas.
- três ondas mecânicas.
- quatro ondas mecânicas.
- cinco ondas mecânicas.

4. Uma onda se propaga numa corda homogênea com velocidade de 400 m/s. Sabendo que a distância entre duas cristas consecutivas é de 25 cm, calcule a frequência dessa onda.

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

$$V = F \cdot \lambda \quad 400 = F \cdot \frac{1}{4} \rightarrow F = 400 \cdot 4 = 1600$$

5. Dada uma onda com comprimento de onda de 40 cm, calcule o que se pede a seguir.



a) O período da onda:

$$T = 2 \text{ s}$$

b) A frequência da onda:

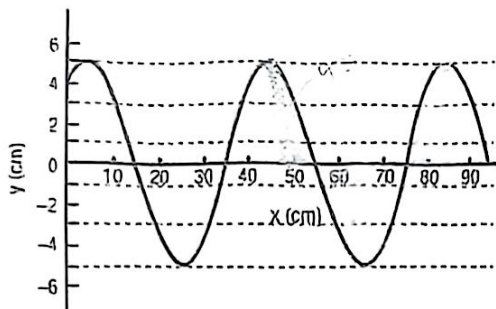
$$T = \frac{1}{F}$$

$$F = \frac{1}{T}$$

c) A velocidade de propagação da onda:

d) A amplitude dessa onda:

6. A ilustração a seguir representa o movimento de uma onda transversal.



Determine o que se pede.

a) A amplitude da onda.

$$S_{em} \rightarrow 0,05 \text{ m}$$

b) O comprimento da onda.

$$\lambda = 40 \text{ cm}$$

c) A velocidade de propagação, sabendo que o período da onda é de 2 s.

$$T = 2 \text{ s}$$

$$\lambda = 40 \text{ cm}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,4 \text{ m}}{2} = 0,2 \text{ m/s}$$

Ondas

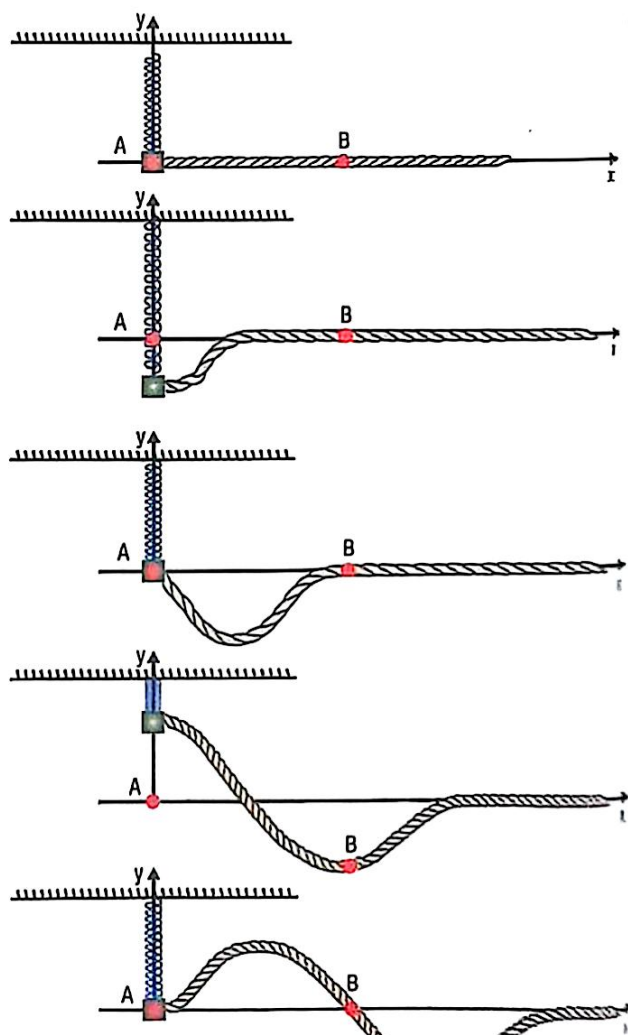
Assim como nos sistemas em movimento harmônico simples, as ondas podem ser analisadas usando uma função que descreve a posição de cada elemento ao longo do tempo.

Considere uma corda tensionada e conectada horizontalmente a um sistema massa-mola. Ao deslocar o oscilador para baixo, ele inicia um movimento harmônico simples, retornando periodicamente para sua posição de equilíbrio. Sabemos que o oscilador tem uma função de posição $x = A \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$, mas, nesse caso, como a oscilação é vertical, a posição é representada por y , e a função trigonométrica relacionada a esse eixo é o seno. Para esse oscilador, posicionado na posição A ($x = 0 \text{ m}$), a função da posição é dada por:

$$y_{(x=0,t)} = A \cdot \sin(\omega t + \theta_0)$$

$$y_{(x=0,t)} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \theta_0\right)$$

Todavia, a oscilação da massa perturba a corda, originando uma onda que se propaga com velocidade v ao longo de sua extensão. Observe que a onda atinge o ponto B, e este começa a oscilar com um atraso Δt em relação ao ponto A (sistema massa-mola).



O deslocamento vertical de uma onda é determinado em função do tempo t , que define o comportamento temporal, e da posição x , que define o comportamento espacial.

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$y(x=0,t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \theta_0\right)$$

$$T \text{ Mev} = T \text{ MHS} = \frac{2\pi}{\omega}$$

Assim, a função da posição em um ponto x genérico da corda é determinada por:

$$y_{(x,t)} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - \Delta t) + \theta_0\right)$$

Observe, nessa equação, que o intervalo de tempo Δt para a onda percorrer uma distância x é $\Delta t = \frac{x}{v}$. Assim:

$$y_{(x,t)} = A \cdot \sin\left(2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{x}{T \cdot v}\right] + \theta_0\right)$$

O produto da velocidade pelo intervalo de tempo corresponde a um período que resulta em um deslocamento igual ao comprimento de uma onda (λ), logo:

$$y_{(x,t)} = A \cdot \sin\left(2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right] + \theta_0\right)$$

Essa é a função que permite determinar a perturbação de um elemento da corda em termos da posição x e do tempo t .



Atividades

Duas ondas transversais A e B se propagam de acordo com as seguintes funções:

$$A: y_A = 2 \cdot \sin\left[2\pi \cdot \left(\frac{t_A}{10} - \frac{x_A}{20}\right) + \pi\right]$$

$$B: y_B = 8 \cdot \sin\left[2\pi \cdot \left(20t_B - 4x_B\right) + \frac{\pi}{3}\right]$$

Sabendo que x e y estão em centímetros e t está em segundos, responda às questões de 1 a 4.

1. Qual é a amplitude das ondas A e B?

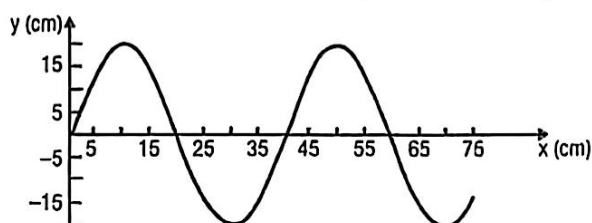
3. Qual é o comprimento da onda?

4. Qual é a velocidade de propagação?

2. Qual é o período da onda?

$$\frac{2\pi}{2\pi} \cdot 1 = \frac{2\pi}{2\pi}$$

5. Uma onda sonora que se propaga no ar com velocidade $v = 340 \text{ m/s}$ tem seu formato representado a seguir:



Construa a equação dessa onda, sendo x e y em centímetros e t em segundos.

Fenômenos ondulatórios

Hoje em dia, as emissoras de rádio com maior audiência são as que operam na banda chamada FM (frequência modulada). Essas empresas de radiodifusão emitem ondas com alta frequência (de 87,5 MHz a 108 MHz), que raramente sofrem interferência.

No século passado, até o início dos anos 1970, os aparelhos de rádio operavam somente na banda chamada AM (amplitude modulada). Entre as diversas frequências usadas por rádios AM, as chamadas ondas médias, usadas no Brasil, trabalham com frequências que podem variar entre 520 kHz e 1 610 kHz, ou seja, bem menor que as das ondas FM. Essas baixas frequências tornam as ondas AM muito sensíveis a interferências, tanto que até o funcionamento do motor do carro é capaz de atrapalhar a recepção dessas ondas. A interferência e outros fenômenos ondulatórios serão estudados na sequência.



Atualmente, em virtude do desenvolvimento tecnológico na área de telecomunicações, problemas de interferência de ondas de rádio ocorrem com menor frequência.

Reflexão de ondas *bate e volta*

Na Óptica, são estudadas a reflexão e a refração da luz. Esse estudo pode ser extrapolado para outros tipos de ondas eletromagnéticas e também para ondas mecânicas.

Assim, podemos generalizar o fenômeno da reflexão para qualquer tipo de onda. Vale lembrar que, na reflexão, a onda não muda de meio de propagação, portanto a velocidade, a frequência e o comprimento de onda se mantêm constantes.

Reflexão de ondas unidimensionais: ondas em cordas

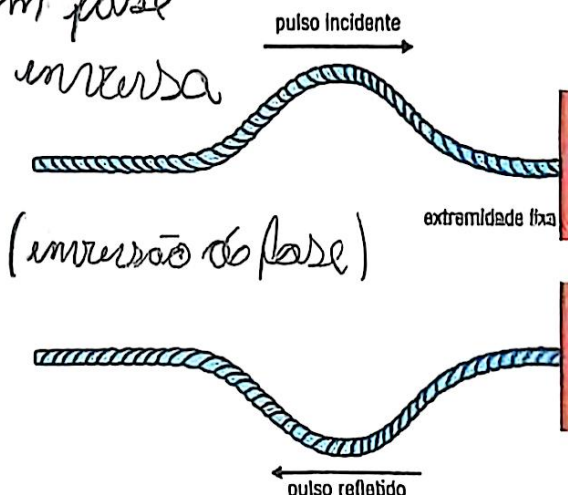
Para trabalhar com situações mais palpáveis e cuja observação é possível em experimentos simples, considere uma onda mecânica que se propaga em uma corda homogênea. Essa corda tem uma de suas extremidades conectada a um suporte e a outra extremidade em contato com uma fonte de ondas (a mão de uma pessoa, por exemplo). Duas seriam as possibilidades.

a) Extremidade da corda fixa no suporte

Suponha que um pulso é emitido nessa corda e vai até o suporte em que ela está presa.

Ao chegar ao suporte, esse pulso sofre reflexão e retorna com sua fase invertida (vai por cima e volta por baixo, ou vice-versa) em relação ao pulso incidente.

Bate e volta com fase



Em cordas com extremidade fixa, o pulso se reflete com inversão de fase.

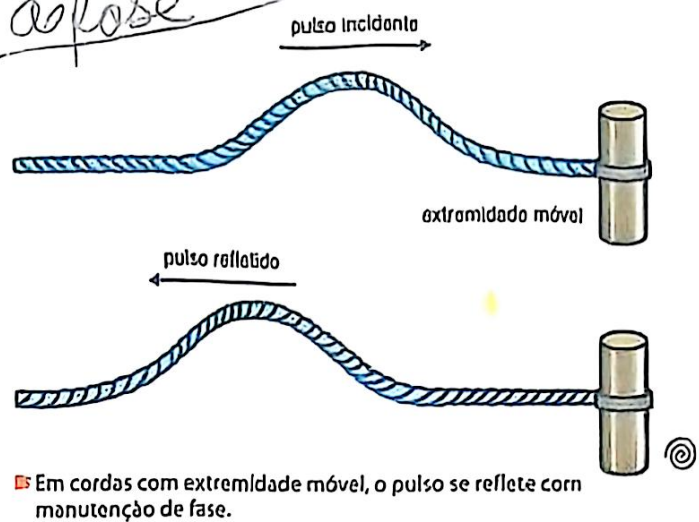
Vale ressaltar;

→ Bate e volta sem inversão de fase

b) Extremidade da corda com liberdade de movimento

Suponha novamente que um pulso é emitido na corda e vai até o suporte ao qual ela está ligada, mas sem estar presa.

Ao chegar ao suporte, esse pulso sofre reflexão e retorna sem inversão de fase (vai e volta por cima ou vai e volta por baixo) em relação ao pulso incidente.



Reflexão de ondas bi ou tridimensionais

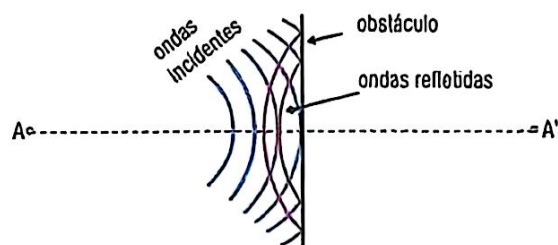
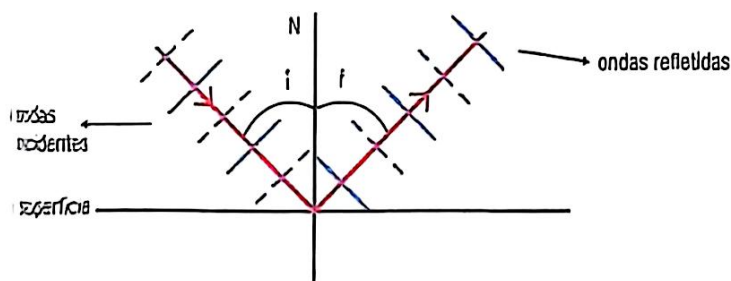
O comportamento das ondas que se propagam em uma direção é idêntico ao comportamento de ondas bi ou tridimensionais. No entanto, para representação desse fenômeno com ondas em duas ou três dimensões, é necessária a compreensão de alguns elementos da onda.

- Frente de onda – corresponde à linha que separa os pontos do meio já perturbados pela onda dos pontos do meio que ainda não foram abalados.
- Linha de onda – é qualquer linha cujos pontos equidistam da fonte e que se encontram em uma crista ou em um vale.
- Trem de ondas – é o conjunto de linhas de determinada onda.
- Raio de onda – é toda linha perpendicular às linhas de onda e análoga aos raios de luz estudados na Óptica.

Ao sofrer reflexão, a onda muda sua direção de propagação. No caso de ondas que se propagam em cordas, após a reflexão, a onda muda apenas seu sentido de propagação. Ainda para essa onda mostrada, são válidas as duas leis da reflexão também:

Leis de Reflexão

1. A onda incidente, a onda refletida e a reta normal estão contidas em um mesmo plano.
2. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.



No caso de ondas bidimensionais, o ângulo de incidência da onda é igual a seu ângulo de reflexão.

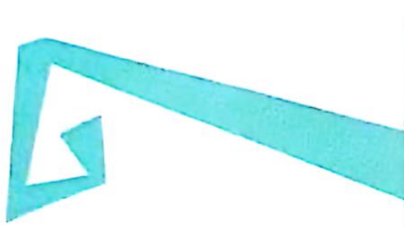
Refração de ondas → velocidade de propagação alterada

Quando incide sobre superfícies de índice de refração diferentes, a luz refrata e, consequentemente, sua velocidade de propagação é alterada. Esse fenômeno ocorre para qualquer onda, seja ela eletromagnética ou mecânica.

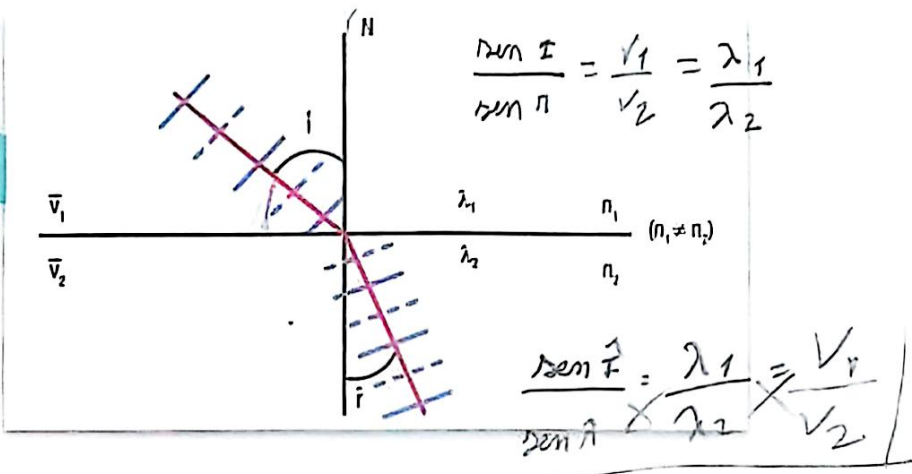
→ Frequência é constante na refração

Refração de ondas bi ou tridimensionais

Para analisar o que ocorre em uma refração de ondas bidimensionais ou tridimensionais, considere uma onda plana como a da figura a seguir.



Na mudança de meio de propagação de ondas bidimensionais, frentes de onda que incidem obliquamente à interface mudam de sentido de propagação.



Evoneta - 13 de abril

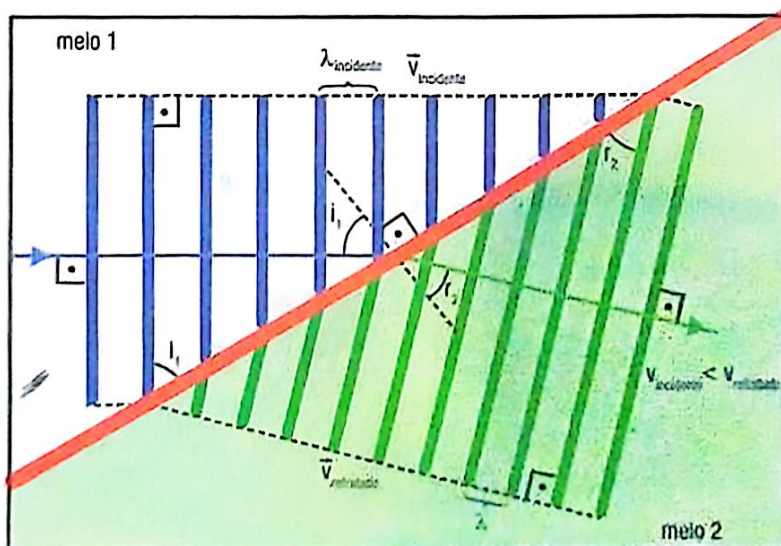
Sendo o índice de refração do meio 1 (n_1) diferente do índice do meio 2 (n_2), com a mudança do meio de propagação da onda, apenas a frequência (f) permanece constante. A velocidade (v) e o comprimento de onda (λ) variam. Isso pode ser comprovado quando um feixe de luz monocromática muda de meio de propagação, mas sua cor não é alterada. Como a cor da luz está associada à sua frequência, isso significa que ela permaneceu constante.

Para a refração de ondas quaisquer, valem as seguintes leis:

- 1ª lei da refração – a onda incidente, a onda refratada e a reta normal estão contidas em um mesmo plano.
- 2ª lei da refração ou Lei de Snell-Descartes – a razão entre os senos dos ângulos de incidência e de refração é igual à razão entre os módulos das velocidades de propagação (ou comprimentos de onda) das ondas incidente e refratada.

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Vale lembrar que uma onda sonora, ao passar do ar para a água, tem sua velocidade de propagação aumentada e, pela equação, percebe-se que o raio de onda deve se afastar da reta normal. No caso da luz, quando ela passa do ar para a água, sua velocidade diminui e, consequentemente, o raio de luz se aproxima da reta normal.



A Lei de Snell-Descartes é válida também para ondas mecânicas, como o som quando se propaga sobre a superfície da água.

Uma discussão comum sobre os conceitos de Ondulatória é o movimento de surfistas em ondas do mar. A questão que resume essa discussão é: se as ondas não transportam matéria, mas somente energia, como a onda do mar conduz um surfista?

Basicamente, quando o surfista é conduzido pela onda, ela não tem mais as características de uma onda, fisicamente falando, pois já está transportando matéria. Atente que o surfista, ao se deslocar lateralmente na onda, busca estar sempre sobre uma mesma fase desse pulso, isto é, sempre sobre um ponto da onda que está na iminência de quebrar. Nesse momento, a água já tem, além da velocidade de oscilação vertical, uma velocidade horizontal, que imprime ao surfista certa velocidade.



Estúdio de Física



© DVO 2012, 10

A refração das ondas do mar, relacionada à redução da profundidade do mar, provoca a mudança de direção de propagação das ondas, fazendo-as chegar perpendicularmente à costa.

fora uma questão p. 53. 97) ita

À medida que a onda se aproxima da costa, a profundidade diminui, fazendo com que:

- a velocidade de propagação da onda diminua (fenômeno da refração, pois estão ocorrendo mudanças na característica do meio de propagação), de acordo com a relação $v = \sqrt{g \cdot h}$ (h representa a profundidade do mar);
- o comprimento da onda diminua, como consequência da redução da velocidade, de acordo com a relação $v = \lambda \cdot f$

no caso dos mltos - como ou um vale de profundidade

Com a redução da velocidade e do comprimento de onda, a onda tem um aumento em sua amplitude, mas conserva a quantidade de movimento, aumentando sua instabilidade. A quebra da onda ocorre em virtude de uma diferença de velocidade da crista (que mantém velocidade pela inércia) com a base, que é retardada pelo fundo e pelas águas mais rasas (efeito do arrasto). Nesse momento, a onda perde suas características fundamentais e passa a transportar matéria como um surfista.



Com a redução da velocidade de propagação das ondas no mar, a amplitude da onda aumenta até sua arrebentação.

capacidade de uma onda de contornar obstáculos ou fendas.

Difração de ondas

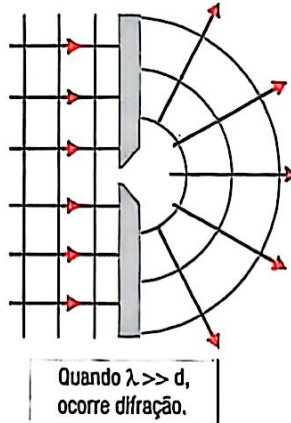
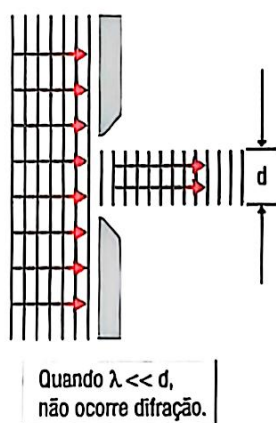
Quando duas pessoas estão em lados opostos de um muro de tijolos, elas podem se ouvir, mas não podem se ver. O fenômeno ondulatório chamado difração explica por que as ondas sonoras podem passar por um obstáculo como um muro, enquanto a luz (que é uma onda eletromagnética) não pode. Para entender a difração, antes é necessário conhecer um dos mais importantes princípios da Ondulatória: o Princípio de Huygens.

Para chegar às suas conclusões, o físico e astrônomo neerlandês Christiaan Huygens (1629-1695) supôs uma onda gerada em uma superfície plana (uma lâmina de água, por exemplo), como mostra a figura.

Huygens, ao analisar a propagação de uma onda, percebeu algo que permitia determinar a posição de uma frente de onda em um instante t , conhecendo-se a posição dela em um instante anterior $t_0 = 0$. Isso ficou conhecido como Princípio de Huygens.

Cada ponto de uma frente de onda, em um instante $t_0 = 0$, pode ser considerado uma fonte de ondas secundárias para os próximos pontos nos instantes $t > t_0$.

O fato de cada ponto de uma frente de onda poder ser considerado uma fonte secundária de ondas explica a capacidade de uma onda de contornar obstáculos ou fendas. A essa capacidade foi dado o nome de difração.



O ponto central representa uma fonte primária e os pontos menores são fontes secundárias.

A difração ocorre quando a abertura da fenda d é bem menor do que o comprimento de onda.

Difração é o fenômeno no qual uma onda pode contornar obstáculos ou fendas.

Experimento

Cuba de ondas

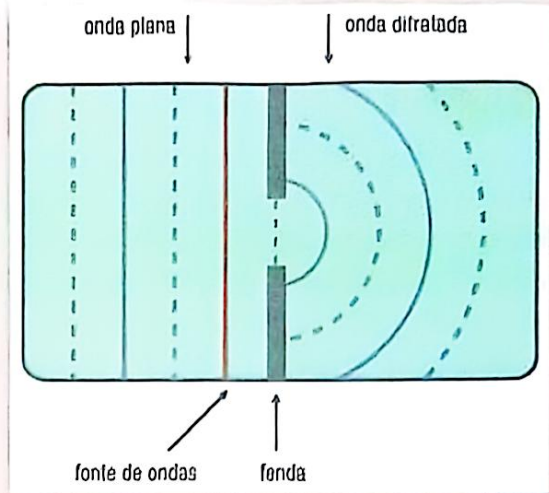
Um experimento simples que demonstra o Princípio de Huygens e a ocorrência da difração pode ser reproduzido com uma cuba contendo água.

Materiais

- 1 cuba de vidro (pode ser uma forma de vidro retangular)
- 1 régua com dimensão igual ou pouco inferior ao menor lado da cuba
- 2 réguas de dimensões iguais ou inferiores à metade do menor lado da cuba
- copo circular
- pano de prato

Como fazer

1. Coloque água dentro da cuba de vidro, deixando-a com profundidade de aproximadamente 1 cm.
2. Com a régua maior, produza pulsos de onda planos em um lado da cuba, empurrando a água para o outro lado. Observe que, ao chegar ao outro lado, os pulsos de onda são refletidos. Essa reflexão pode ser atenuada colocando um pano de prato na borda da cuba.
3. Para observar a difração em um obstáculo, coloque um copo com a boca para baixo no centro da cuba. Produza as ondas planas e observe o que ocorre com os pulsos após passarem pelo copo.
4. Para observar a difração em uma fenda, coloque as duas régua paralelamente às ondas planas, deixando uma fenda central como na imagem (para isso, peça ajuda aos colegas). Observe o que ocorre com os pulsos de onda ao passarem pela fenda.



A difração de uma onda evidencia o Princípio de Huygens, isto é, que cada ponto de frente de onda se comporta como uma nova fonte de onda.

Análise

- Explique o comportamento dos pulsos de onda ao passarem pela fenda ou pelo obstáculo.

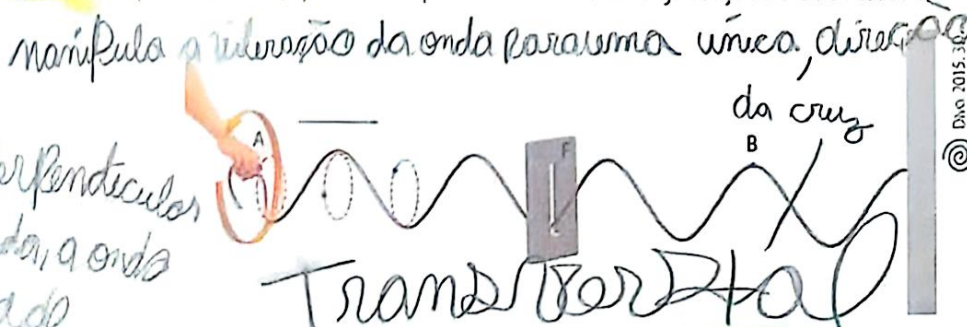
O fenômeno de difração é observado de modo mais intenso quando o comprimento de onda é próximo às dimensões da fenda ou do obstáculo. No caso do som audível, o comprimento de onda é da ordem de 1,7 cm a 17 m e, portanto, pode facilmente contornar obstáculos e fendas do tamanho de portas, por exemplo. Por outro lado, a luz apresenta comprimento de onda compreendido entre $4 \cdot 10^{-7}$ m e $7 \cdot 10^{-7}$ m, portanto, dificilmente difrata, porque as fendas e os obstáculos apresentam dimensões geralmente muito superiores ao comprimento de onda da luz. Por esse motivo, uma pessoa pode ouvir, mas não pode ver algo que está do outro lado de um muro de tijolos.

Polarização de ondas

Refere-se a ondas mecânicas e eletromagnéticas.

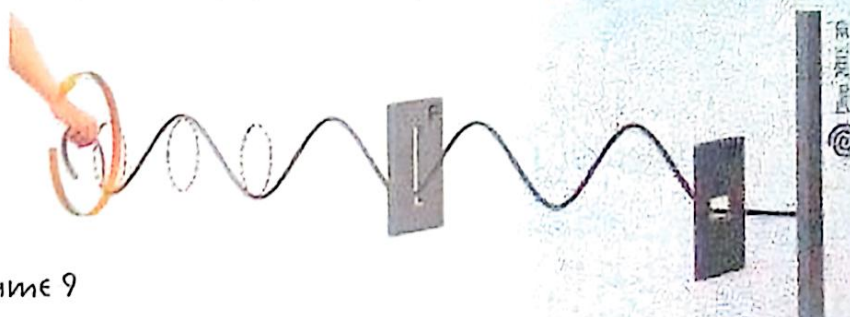
determina o comprimento de onda.

Normalmente, costuma-se falar sobre polarização de ondas eletromagnéticas, mas esse fenômeno ocorre com qualquer onda, desde que transversal. Imagine uma situação fictícia com ondas mecânicas: suponha que alguém produza uma onda tridimensional em uma corda. Para isso, a fonte de onda (mão da pessoa) deve segurar a corda e girá-la em círculos. Suponha, então, que a onda produzida na corda seja forçada a atravessar uma fenda vertical.



Um polarizador permite a transmissão de somente uma direção de oscilação da onda.

Ao atravessar a fenda, a onda sofre uma mudança em seus planos de vibração e passa a vibrar somente em uma direção. Nesse caso, a fenda funciona como um polarizador e o fenômeno ocorrido é denominado polarização. Colocando mais um polarizador perpendicular ao polarizador já existente, por exemplo, a onda desaparece por completo.



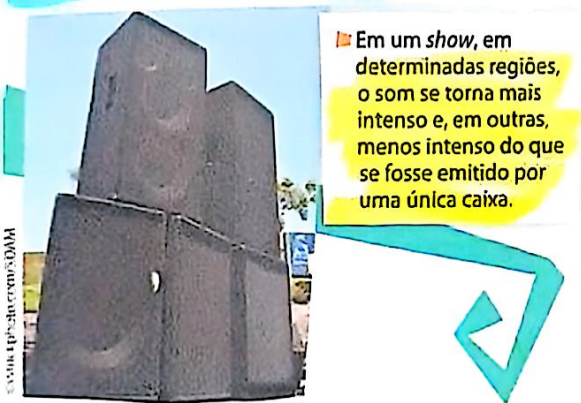
Caso a onda incidente tenha direção de vibração perpendicular à direção do polarizador, a onda não deixa de existir.

Esses exemplos de polarização referem-se às ondas transversais, como a luz, que podem ser polarizadas. Para isso, cristais especiais, como a calcita, são usados como polarizadores. Se um segundo cristal for colocado na frente do primeiro cristal, perpendicularmente ao existente, nenhuma luz será percebida após a incidência sobre ele.

Já as ondas longitudinais não podem ser polarizadas, uma vez que a direção de propagação delas coincide com a direção de vibração.

Interferência de ondas

Durante um comício ou um show em uma praça pública, se duas caixas de som servirem de fontes de ondas sonoras, uma pessoa caminhando pela praça e ouvindo o som que elas emitem perceberá intensidades sonoras que variam de ponto para ponto. Esse fenômeno é chamado de interferência de ondas.



Em nossa vida diária, diversas são as situações em que podem ser percebidas interferências de ondas. Como exemplos, podem ser citadas as explosões solares que influenciam as telecomunicações; o chiado em caixas de som de um computador quando um telefone celular que está próximo recebe uma chamada, etc.

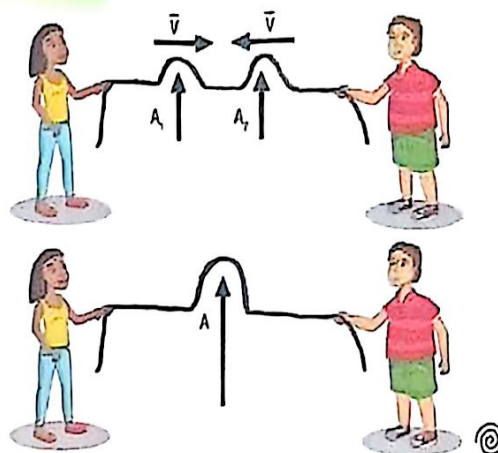
Interferência de ondas unidimensionais: ondas em cordas

Vamos analisar primeiramente o que ocorre com pulsos de ondas que se propagam em cordas e se sobrepoem a outros pulsos. Para isso, supomos que, em uma corda de densidade linear homogênea e tensionada, dois pulsos se propagam em sentidos opostos.

Interferência construtiva

Imagine que, em uma mesma corda, sejam produzidos dois pulsos, conforme a próxima figura, sendo a corda homogênea e, por isso, a velocidade de propagação dos dois pulsos igual. Considerando as amplitudes

desses pulsos A_1 e A_2 , no momento em que esses pulsos se encontram, há uma superposição, e se forma, na região de encontro, um pulso único resultante e com amplitude A .



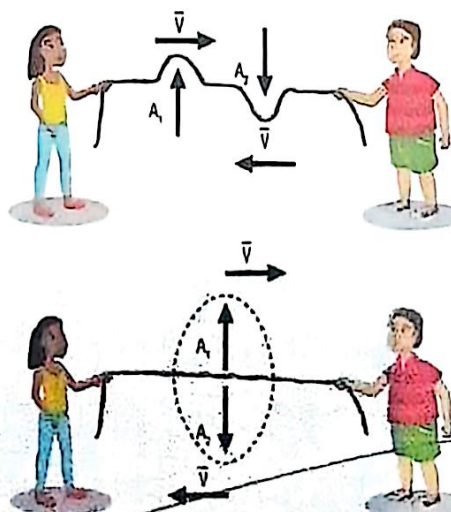
A sobreposição de dois pulsos em fase ocasiona uma interferência construtiva.

A situação descrita corresponde ao fenômeno denominado interferência, cujo resultado é um pulso com amplitude igual à soma das amplitudes A_1 e A_2 . Essa interferência é chamada de construtiva e o módulo da amplitude do pulso é determinado por:

$$A = |A_1 + A_2|$$

Interferência destrutiva

Imagine agora uma situação parecida com a anterior, mas suponha que a fase de um dos pulsos seja invertida. Nesse caso, também ocorre interferência entre os pulsos gerados, mas a amplitude resultante é dada pelo módulo da diferença entre as amplitudes A_1 e A_2 . A essa situação dá-se o nome de interferência destrutiva.



A sobreposição de dois pulsos em fases opostas ocasiona uma interferência destrutiva.

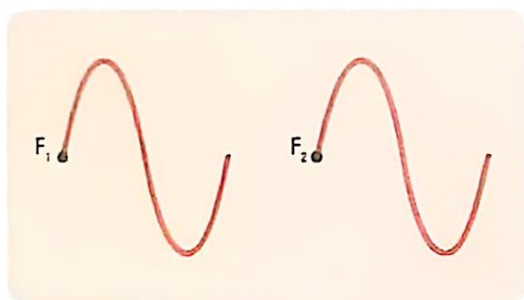
Nesse caso, o módulo da amplitude da onda resultante é determinado por:

$$A = |A_1 - A_2|$$

Se as amplitudes A_1 e A_2 forem iguais ($A_1 = A_2$), a amplitude resultante será nula: $A = 0$.

Interferência de ondas bidimensionais ou tridimensionais para fontes coerentes

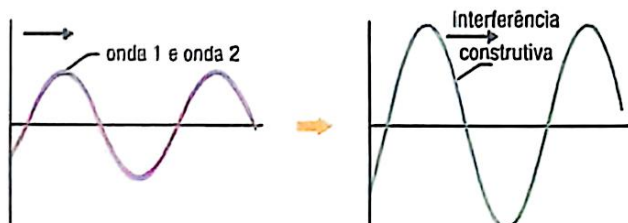
Diz-se que duas fontes (F_1 e F_2) são coerentes quando emitem ondas de mesma frequência, em um mesmo meio e em concordância de fase.



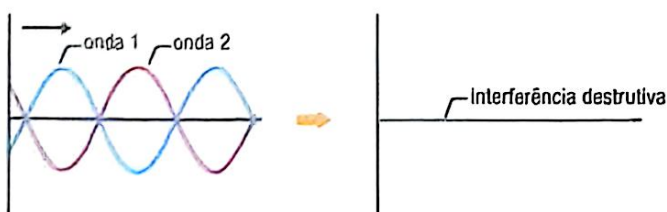
■ Duas fontes são coerentes quando produzem ondas com mesma frequência e com mesma fase inicial.

As duas ondas produzidas pelas fontes podem sofrer as seguintes interferências:

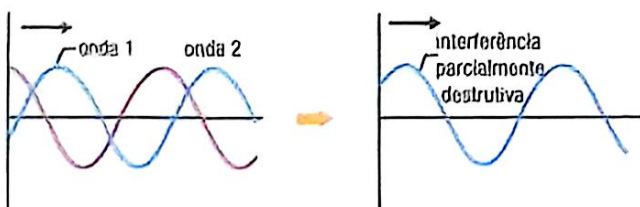
- construtiva, se ocorrer o encontro de duas cristas ou de dois vales;



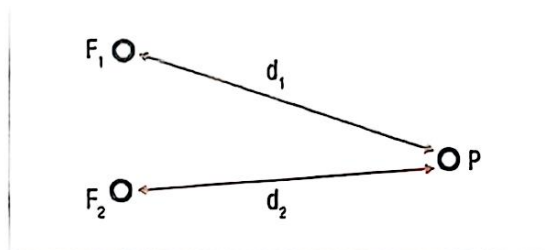
- destrutiva, se ocorrer o encontro de uma crista com um vale;



- parcial nos demais pontos de encontro das ondas.



Supondo duas fontes de ondas coerentes F_1 e F_2 , emitindo ondas em um mesmo meio, e um ponto P nas proximidades dessas ondas, como é possível descobrir qual tipo de interferência ocorrerá nesse ponto? Para resolver isso, é necessário criar um método capaz de dar respostas precisas.



■ A interferência de ondas bidimensionais é definida pela diferença de distância percorrida pelas ondas em relação ao comprimento de onda.

$d_1 \rightarrow$ distância da fonte F_1 ao ponto P ;

$d_2 \rightarrow$ distância da fonte F_2 ao ponto P ;

$\Delta d \rightarrow$ diferença de distância (ou diferença de marcha).

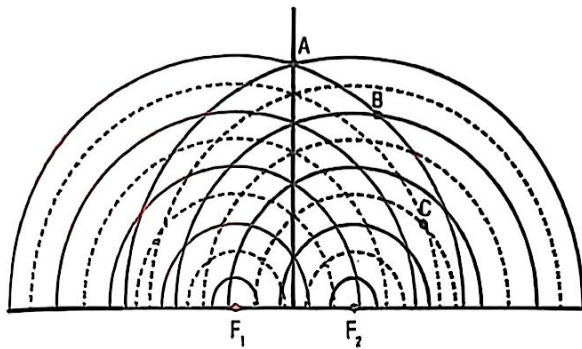
$$\Delta d = d_1 - d_2$$

Quando as duas fontes coerentes F_1 e F_2 emitem ondas em fase, três situações podem ocorrer no ponto P :

Interferência construtiva

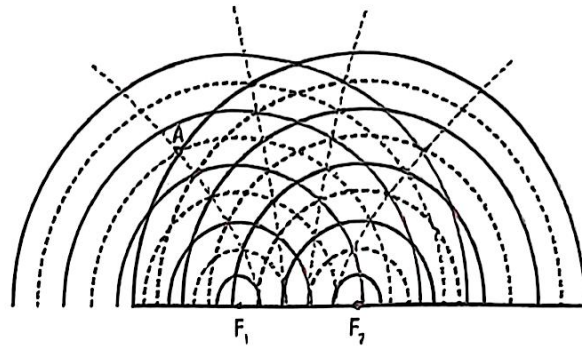
Para ocorrer interferência construtiva no ponto P , deve ocorrer o encontro de duas cristas ou de dois vales. Em outros termos, em virtude da diferença de distância das fontes ao ponto P , deve haver uma defasagem de um número inteiro de comprimentos de onda. Ou, em um raciocínio análogo ao que foi utilizado para estabelecer que havia concordância de fase entre pontos de uma onda, deve haver um número par de meios comprimentos de onda como defasagem, ou não deve haver defasagem alguma (caso de $\Delta d = 0$). Isso se dá caso dois pontos estejam defasados (fora de fase) por dois meios comprimentos de onda. Eles terão características semelhantes caso um seja uma crista (ou vale), o outro também será. Valendo esse raciocínio para uma defasagem de dois meios comprimentos de onda, ele pode ser extrapolado para um número par qualquer de meios comprimentos de onda. Obviamente se não houver diferença de distância entre as fontes e o ponto P , a interferência será também construtiva. Matematicamente, tem-se:

$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ em que } n \text{ é um número par.}$$



A sobreposição de duas frentes de onda em fase ocasiona uma interferência construtiva.

$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ em que } n \text{ é um número ímpar.}$$



A sobreposição de duas frentes de onda em fases contrárias ocasiona uma interferência destrutiva.

Interferência destrutiva

Para ocorrer interferência destrutiva total no ponto P, deve ocorrer o encontro de uma crista com um vale, ou seja, em virtude da diferença de distância das fontes ao ponto P, deve haver uma defasagem de um número ímpar de meios comprimentos de onda. Dessa maneira, ocorre uma alternância entre cristas e vales a cada meio comprimento de onda. Assim, havendo entre as ondas a defasagem de 1, 3, 5, 7 ou qualquer outro número ímpar de meios comprimentos de onda, ocorrerá interferência destrutiva entre elas no ponto P. Matematicamente, tem-se:

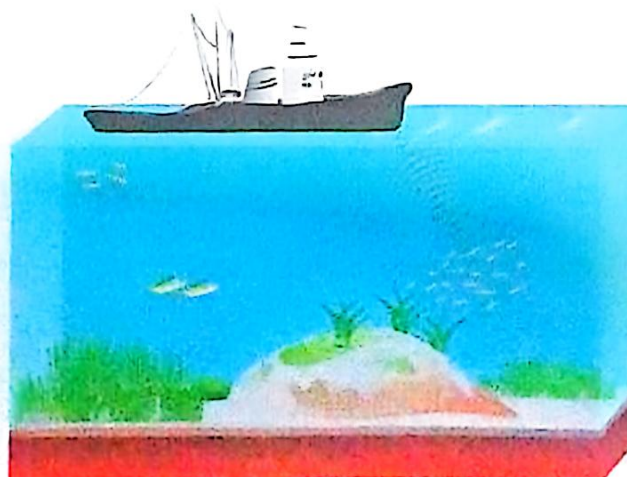
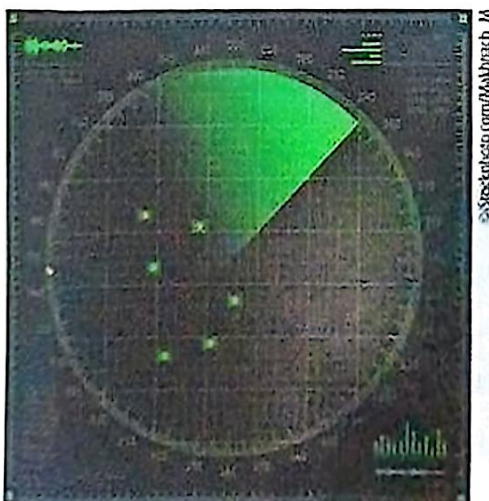
Interferência parcial

Em um meio no qual duas fontes coerentes emitem ondas, na maioria dos pontos ocorre interferência parcial. Por exclusão, pode-se dizer que esse tipo de interferência ocorre em quaisquer pontos em que não haja interferência construtiva ou destrutiva. Matematicamente, por apresentar uma diferença de distância das fontes ao ponto P, deve haver uma defasagem de um número que não seja nem par nem ímpar de meios comprimentos de onda, ou seja, isso ocorrerá quando n não for um número inteiro.

Organize as ideias

As imagens a seguir apresentam esquemas do funcionamento de um sonar.

Com base nas imagens e nos princípios físicos associados a ondas, explique como funciona um sonar. Durante a explicação, defina as grandezas associadas às ondas e que estão relacionadas ao fenômeno.

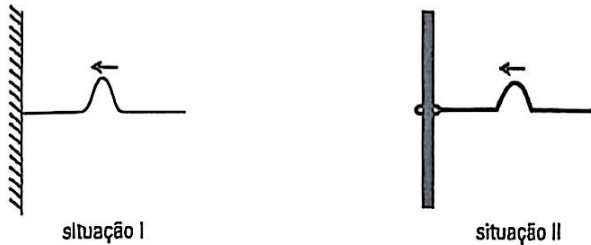




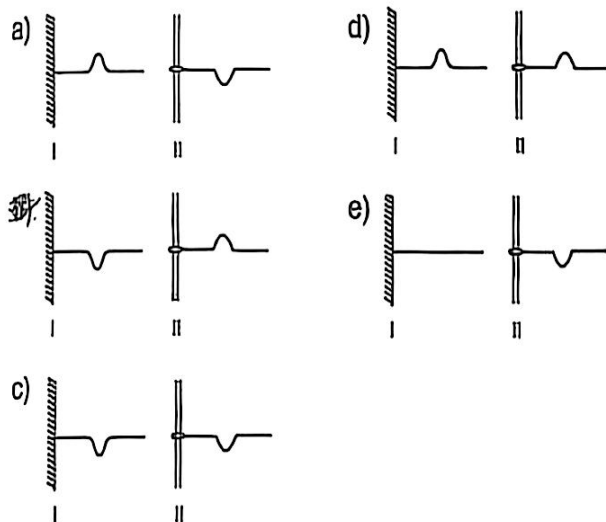
Atividades

1. (UNIFACS – BA) No fenômeno da refração da onda, necessariamente permanece constante:
a) a frequência da onda;
b) a velocidade de propagação da onda;
c) a amplitude da onda;
d) o comprimento de onda da onda;
e) a direção de propagação da onda.
2. (UFPEL – RS) Recentemente, o físico Marcos Pontes se tornou o primeiro astronauta brasileiro a ultrapassar a atmosfera terrestre. Diariamente existiam contatos entre Marcos e a base, e alguns deles eram transmitidos através dos meios de comunicação. Com base no texto e em seus conhecimentos, é correto afirmar que conseguimos "ouvir" e "falar" com Marcos porque, para essa conversa, estavam envolvidas:
a) apenas ondas mecânicas – transversais – já que estas se propagam tanto no vácuo como no ar;
b) apenas ondas eletromagnéticas – longitudinais – já que estas se propagam tanto no vácuo como no ar;
c) ondas eletromagnéticas – transversais – que apresentam as mesmas frequências, velocidade e comprimento de onda, ao passar de um meio para outro;
d) ondas mecânicas – transversais – que apresentam as mesmas frequências, velocidade e comprimento de onda, ao passar de um meio para outro;
e) tanto ondas eletromagnéticas – transversais – que se propagam no vácuo, como ondas mecânicas – longitudinais – que necessitam de um meio material para a sua propagação.
3. (UEPG – PR) No que se refere aos fenômenos ondulatórios, assinale o que for correto.
(01) Ao passar de um meio para outro uma onda tem sua frequência alterada.
(02) Quando uma onda se reflete em uma barreira, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.
(04) Em uma onda transversal, os pontos do meio em que ela se propaga vibram perpendicularmente à direção de sua propagação.
(08) A velocidade de propagação de uma onda depende do meio em que ela se propaga.
4. Uma onda mecânica de frequência de 200 Hz e comprimento de onda de 4 cm se propaga num meio (1) e passa para outro meio (2) diferente do primeiro. Os ângulos de incidência e refração são, respectivamente, 30° e 60° . Calcule:
a) a velocidade da onda no meio 1;
b) a velocidade da luz no meio 2;
c) o comprimento de onda no meio 2.
5. Assinale a alternativa correta.
a) Difração é o fenômeno no qual as ondas passam de um meio para outro meio diferente.
b) A difração é um fenômeno apresentado exclusivamente por ondas sonoras e luminosas.
c) A difração pode ser explicada pela Teoria Corpuscular de Newton.
d) Em idênticas condições, ondas com menor frequência difratam mais que ondas com maior frequência.
e) As sete cores do espectro luminoso (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta) difratam-se de modo igual em uma mesma fenda.
6. (CEUB – DF) A polarização da luz demonstra que:
a) a luz não se propaga no vácuo;
b) a luz é sempre monocromática;
c) a luz tem caráter corpuscular;
d) as ondas luminosas são longitudinais;
e) as ondas luminosas são transversais.

7. (UFF – RJ) A figura representa a propagação de dois pulsos em cordas idênticas e homogêneas. A extremidade esquerda da corda, na situação I, está fixa na parede e, na situação II, está livre para deslizar, com atrito desprezível, ao longo de uma haste.



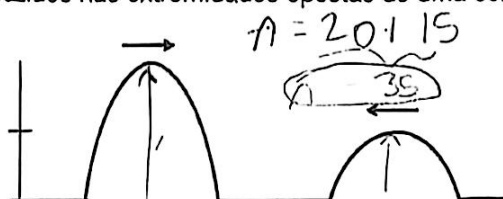
Identifique a opção em que estão mais bem representados os pulsos refletidos nas situações I e II:



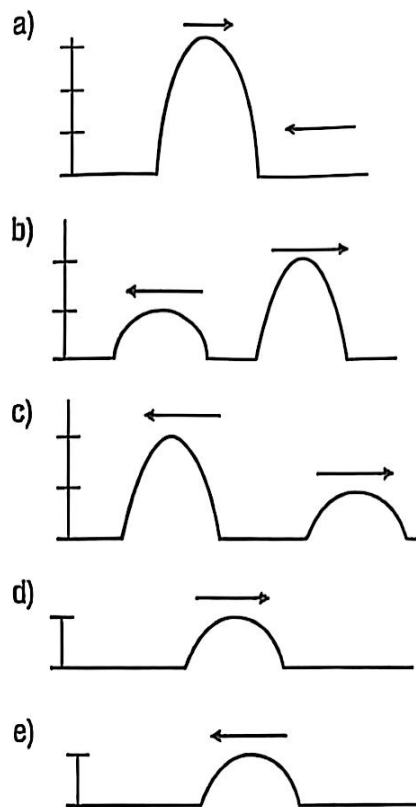
8. (UEL – PR) Quando um pulso se propaga de uma corda _____ espessa para outra _____ espessa, ocorre _____ inversão de fase. Que alternativa preenche corretamente as lacunas da frase acima?

- mais, menos, refração com
- mais, menos, reflexão com
- menos, mais, reflexão sem
- menos, mais, reflexão com
- menos, mais, refração com

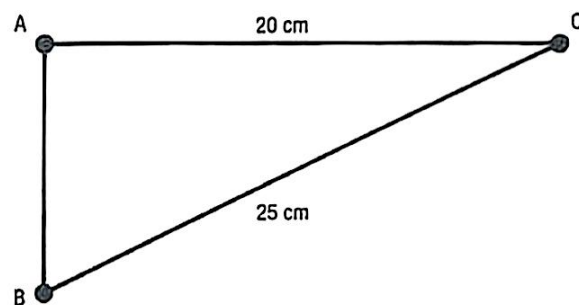
9. (UFRGS – RS) A figura abaixo representa dois pulsos produzidos nas extremidades opostas de uma corda.



Assinale a alternativa que melhor representa a situação da corda após o encontro dos dois pulsos:



10. (PUCPR) Um observador, situado no ponto O, recebe ondas sonoras emitidas por duas fontes situadas nos pontos A e B, idênticas, que emitem em oposição de fase.



A velocidade de propagação do som emitido pelas fontes é de 340 m/s e a frequência é de 170 Hz. No ponto O ocorre interferência:

- destrutiva e não se ouve o som emitido pelas fontes;
- construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 170 Hz;
- construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 340 Hz;
- construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 510 Hz;
- destrutiva e a frequência da onda sonora nesse ponto será de 340 Hz.



Nas ondas do rádio

Todas as manhãs, quando saio de casa e entro no carro, a primeira coisa que faço é ligar o rádio. Ouvir música, notícias e partidas de futebol pelo rádio é um hábito que tenho desde a adolescência. Embora, quando nasci, a televisão já tivesse invadido a maioria dos lares brasileiros, o rádio sempre foi um bom companheiro.

Ele sempre teve presença marcante como meio de comunicação ágil e de fácil acesso. Devido à sua natureza de transmissão de sinais, as emissoras conseguem propagá-los por longas distâncias. Dependendo da frequência em que são transmitidos, os sinais podem ser captados a milhares de quilômetros.

As emissoras transmitem seus sinais por meio de ondas eletromagnéticas, que são oscilações em fase de campos elétricos e magnéticos. Tais ondas foram previstas teoricamente pelo físico britânico James Clerk Maxwell (1831-1879), que consolidou as leis do eletromagnetismo, mostrando inclusive, em 1879, que a luz era uma forma de onda eletromagnética. Em 1888, o físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) produziu ondas eletromagnéticas a partir de um oscilador, comprovando as ideias de Maxwell.

Em 1896, o físico italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) desenvolveu o primeiro sistema prático de transmissão de sinais sem fio, com base em trabalhos anteriores do engenheiro austríaco Nikola Tesla (1856-1943). Embora de fato Tesla tenha realizado experimentos demonstrando a transmissão de sinais por ondas eletromagnéticas antes de Marconi, coube a este último desenvolver o equipamento para aplicações práticas como as que conhecemos hoje. Marconi, juntamente com o físico alemão Karl Ferdinand Braun (1850-1918), foi agraciado com o Nobel de Física em 1909 por esses avanços na transmissão de sinais sem fio.

As ondas eletromagnéticas usadas na transmissão de sinais, como as de rádio e TV, são uma pequena parte do chamado espectro eletromagnético. A luz visível, por exemplo, é uma onda eletromagnética de comprimento entre 400 a 700 nanômetros (1 nanômetro = 1 bilionésimo do milímetro) e tem frequência entre 400 e 750 THz (1 THz = 10^{12} hertz; 1 seguido de 12 zeros).

Já as ondas de rádio têm comprimentos de onda muito maiores (entre alguns metros e centenas de metros) e frequências mais baixas, da ordem de kHz a MHz (entre milhares e milhões de hertz). A luz visível pode ser captada por nossos olhos; já as ondas de rádio não podem ser vistas, pois, para perceber esse tipo de radiação, nossos olhos deveriam ter um tamanho da ordem de metros.

OLIVEIRA, Adilson. Nas ondas do rádio. Instituto Ciência Hoje. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misteno/nas-ondas-do-radio>>. Acesso em: 18 set. 2015.

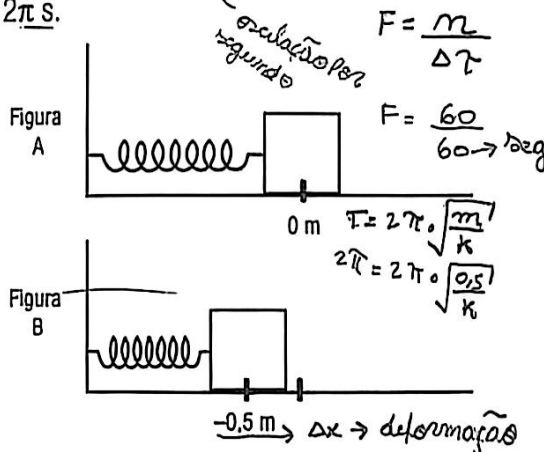
Atividades de interpretação

1. De acordo com o texto, como é definida uma onda eletromagnética? Cite exemplos de ondas eletromagnéticas presentes em nosso cotidiano.
2. No último parágrafo, existe a seguinte afirmação: "A luz visível pode ser captada por nossos olhos; já as ondas de rádio não podem ser vistas, pois, para perceber esse tipo de radiação, nossos olhos deveriam ter um tamanho da ordem de metros". Qual fenômeno ondulatório também está diretamente relacionado com a ordem de grandeza das ondas incidentes? Explique-o.



Hora de estudo

1. Defina o que são movimentos periódicos. Cite exemplos.
2. O que é um movimento oscilatório? Cite exemplos.
3. Todo movimento periódico é oscilatório? Explique sua resposta.
4. O coração é responsável por realizar a circulação do sangue pelo corpo. Seus batimentos constituem um movimento periódico cuja frequência cardíaca média corresponde a 60 batimentos por minuto. Determine a frequência cardíaca média em Hz. $F = 1 \text{ Hz}$
5. Um sistema massa-mola realiza um MHS de período igual a $2\pi \text{ s}$.



Sabendo que, na figura A, a mola está com seu tamanho natural e, na figura B, ela está com a compressão máxima e que a massa do bloco é igual a 0,5 kg, responda às questões.

- a) Qual é a amplitude e o período do MHS? 2π
 - b) Qual é a constante elástica da mola? $F_{el} = k \cdot \Delta x$
 - c) Qual é o módulo da aceleração máxima? $F_{el} = m \cdot a$
- As funções horárias a seguir representam o MHS de um ponto material sobre um eixo Ox . Para cada uma das situações, determine:
- a amplitude;
 - a frequência angular ou pulsão;
 - a fase inicial;
 - o período.
- a) $x(t) = 0,3 \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2}t\right)$
 - b) $x(t) = 0,25 \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{4}t + \pi\right)$

$$F_{el} = F_{gr}$$

$$m \cdot g = F_{el}$$

$$0,5 \cdot 9,8 = F_{el}$$

7. (AMAN – RJ) Peneiras vibratórias são utilizadas na indústria de construção para classificação e separação de agregados em diferentes tamanhos. O equipamento é constituído de um motor que faz vibrar uma peneira retangular, disposta no plano horizontal, para separação dos grãos. Em uma certa indústria de mineração, ajusta-se a posição da peneira de modo que ela execute um movimento harmônico simples (MHS) de função horária $x = 8 \cos(8\pi t)$, onde x é a posição medida em centímetros e t , o tempo em segundos. O número de oscilações a cada segundo executado por esta peneira é de:

a) 2 b) 4 c) 8 d) 16 e) 32

8. (UFSM – RS) Uma partícula de massa m , presa a uma mola, executa um Movimento Harmônico Simples (MHS) com período de 16 s. Uma partícula de massa $4m$, presa à mesma mola, executará um MHS com período (em s) de:

a) 4 b) 8 c) 16 d) 32 e) 64

9. Julgue as alternativas como verdadeiras (V) ou falsas (F).

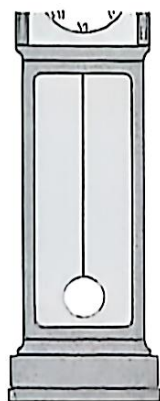
- a) () O período de um pêndulo simples depende de sua massa.
- b) () O período de um pêndulo simples depende do comprimento do fio.
- c) () A equação usada para calcular o período de um pêndulo simples não apresenta restrições quanto à sua utilização.
- d) () Com base na experimentação com um pêndulo simples e, posteriormente, na utilização dos dados obtidos em sua equação, é possível determinar o valor da aceleração da gravidade em qualquer local sobre a superfície do planeta Terra.
- e) () Um pêndulo simples é posto a oscilar em um local sobre a superfície do planeta, onde a aceleração da gravidade vale $9,8 \text{ m/s}^2$. Se o mesmo pêndulo for posto a oscilar na superfície da Lua, onde a aceleração da gravidade apresenta um valor aproximado de $1,6 \text{ m/s}^2$, o período de oscilação desse pêndulo será maior.
- f) () Em relação ao pêndulo simples do item anterior, para que ele apresente na Lua o mesmo valor do período de oscilação apresentado na Terra, o comprimento do fio deverá ser aumentado.

10. (UFPA) Considere a seguinte afirmação acerca do movimento de um pêndulo simples: Um pêndulo de maior comprimento tem um período mais longo do que um pêndulo mais curto; ou seja, ele balança para lá e para cá mais frequentemente do que o pêndulo mais curto. Como bom estudante, conhecedor das leis que regem o movimento oscilatório, você percebe que a afirmação está incorreta, porque:

- a) quanto maior o período, menor a frequência, logo o pêndulo de maior comprimento oscila com menor frequência do que o pêndulo mais curto;
- b) o período de oscilação não depende do comprimento do pêndulo, portanto a afirmação não tem nenhum sentido físico;
- c) um pêndulo de maior comprimento tem um período mais curto, logo ele oscila menos frequentemente do que um pêndulo mais curto;
- d) a frequência de oscilação de um pêndulo nada tem a ver com o seu período;
- e) o pêndulo mais curto é o que oscila com menor frequência.

11. Um pêndulo simples de comprimento 10 cm é posto a oscilar num local da Terra em que a aceleração da gravidade pode ser considerada aproximadamente 10 m/s^2 . Qual é o valor do período de oscilação desse pêndulo e de sua frequência? Considere $\pi = 3$ para simplificar os cálculos.

12. (FGV) Na Terra, o período de oscilação de um pêndulo, isto é, o tempo que ele demanda para completar um ciclo completo, corresponde, com boa aproximação, à raiz quadrada do quádruplo do comprimento do pêndulo. O pêndulo de um carrilhão, ao oscilar, bate o segundo e é constituído por uma fina haste de aço de massa desprezível, unida a um grande disco de bronze, que guarda em seu centro o centro de massa do conjunto haste-disco. Suponha que a 20°C , o centro de massa do conjunto esteja a 1 metro do eixo de oscilação, condição que faz o mecanismo funcionar com exatidão na medida do tempo.



Considerando que o coeficiente de dilatação linear do aço é $10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e supondo que o centro de massa da haste-disco se mantenha sempre no centro do

disco se a temperatura do conjunto haste-disco subir 10°C , a medida do tempo, correspondente a meio ciclo de oscilação do pêndulo, se tornará:

- a) $\sqrt{1,0001}$ s, fazendo com que o relógio adiante.
- b) $\sqrt{2,0002}$ s, fazendo com que o relógio adiante.
- c) $\sqrt{1,0001}$ s, fazendo com que o relógio atrase.
- d) $\sqrt{2,0002}$ s, fazendo com que o relógio atrase.
- e) $2 \cdot \sqrt{2,0002}$ s, fazendo com que o relógio atrase.

13. (UFV – MG) Em alguns filmes de ficção científica, a explosão de uma nave espacial é ouvida em outra nave, mesmo estando ambas no vácuo do espaço sideral. Em relação a este fato é correto afirmar que:

- a) isto não ocorre na realidade, pois não é possível a propagação do som no vácuo;
- b) isto ocorre na realidade, pois, sendo a nave tripulada, possui seu interior preenchido por gases;
- c) isto ocorre na realidade, uma vez que o som se propagará junto com a imagem da mesma;
- d) isto ocorre na realidade, pois as condições de propagação do som no espaço sideral são diferentes daquelas daqui da Terra;
- e) isto ocorre na realidade e o som será ouvido inclusive com maior nitidez, por não haver meio material no espaço sideral.

14. Nas competições de saltos ornamentais, um dos objetivos dos atletas é, ao cair na piscina, espirrar a menor quantidade possível de água. Mas, por mais perfeito que seja o salto, sempre ocorre uma perturbação na superfície da água. Normalmente, o período do pulso provocado é de aproximadamente $\frac{1}{600}$ min. Qual é a frequência desse pulso em Hz?

15. (UFPI) Determinada emissora de rádio transmite na frequência de 6,1 MHz. A velocidade da luz no ar é de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Para sintonizar essa emissora, precisamos de um receptor de ondas curtas que opere na faixa de:

- a) 13 m
- b) 19 m
- c) 25 m
- d) 31 m
- e) 49 m

16. (UNIFOR – CE) Na superfície de um lago, o vento produz ondas periódicas que se propagam com velocidade de 2,0 m/s. O comprimento de onda é de 8,0 m. Uma embarcação ancorada nesse lago executa movimento oscilatório, de período:

- a) 0,1 s c) 4,0 s e) 16 s
b) 0,4 s d) 0,8 s

17. Uma onda propaga-se de acordo com a seguinte função: $y = 4 \cdot \sin \left[2\pi \cdot (10t - 5x) + \frac{\pi}{2} \right]$.

Sabendo que x e y estão em centímetros e t em segundos, determine:

- a) a amplitude da onda;
b) o período da onda;
c) o comprimento da onda;
d) a velocidade de propagação.

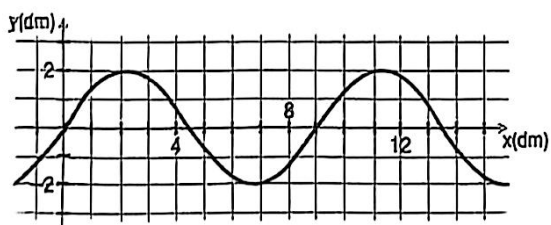
18. (UFPE) A equação de uma onda que se propaga em um meio homogêneo é $y = 0,01 \cdot \sin [2\pi (0,1x - 0,5t)]$, onde x e y são medidos em metros, e t, em segundos.

Determine a velocidade da onda, em m/s.

- a) 2 c) 4 e) 6
b) 3 d) 5

19. (CESGRANRIO – RJ) Uma onda bidimensional se propaga em uma corda longa segundo um plano vertical. Os deslocamentos verticais, em relação à posição horizontal de repouso da corda, são dados em função do tempo por $y = 2 \cdot \sin \left(\frac{\pi \cdot t}{6} \right)$ em que y está em decímetros, e t, em segundos.

A figura abaixo representa um trecho dessa onda.



A velocidade de propagação da onda, em dm/s, é

- a) $\frac{2}{3}$ c) $\frac{3}{4}$ e) $\frac{4}{9}$
b) $\frac{3}{2}$ d) $\frac{4}{3}$

20. (ENEM) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com a ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da:

- a) reflexão; d) polarização;
b) refração; e) interferência.
c) difração;

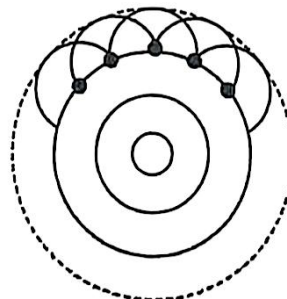
21. (UFRGS – RS) Considere as seguintes afirmações sobre os fenômenos ondulatórios e suas características:

- I. A difração ocorre apenas com ondas sonoras.
II. A interferência ocorre apenas com ondas eletromagnéticas.
III. A polarização ocorre apenas com ondas transversais.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I. d) Apenas I e II.
b) Apenas II. e) I, II e III.
c) Apenas III.

22. (UESPI) Uma fonte pontual gera, em dado instante inicial, um pulso de onda luminosa. À medida que se propaga, cada ponto da frente de onda atua como um emissor de ondas secundárias, cuja envoltória determina a própria frente de onda luminosa em um instante posterior. Essa ideia, lançada no século XVII e representada graficamente na figura a seguir, é conhecida como:

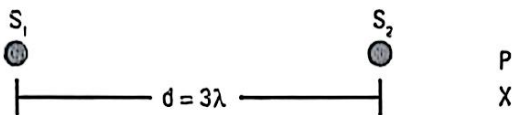


- a) princípio de Snell. d) princípio de Newton.
b) princípio de Fermat. e) princípio de Hooke.
c) princípio de Huygens.

23. A respeito da difração, assinale a opção falsa.

- a) O som se difrata mais do que a luz, porque seu comprimento de onda é maior.
- b) Os sons de maior frequência se difratam menos do que os sons de menor frequência.
- c) A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.
- d) Para haver difração em um orifício ou uma fenda, o comprimento de onda deve ser maior ou da ordem de grandeza das dimensões do orifício ou da fenda.
- e) Apenas as ondas longitudinais se difratam.

24. (UFC – CE) Duas fontes, S_1 e S_2 , emitem ondas sonoras, em fase, com a mesma amplitude, Y , e o mesmo comprimento de onda, λ . As fontes estão separadas por uma distância $d = 3\lambda$. Considere que a amplitude Y não varia. A amplitude da onda resultante, no ponto P, é:

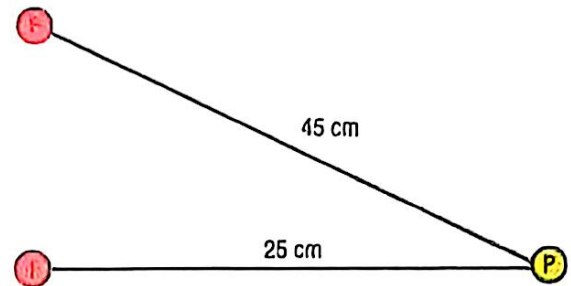


- a) $4Y$
- b) $2Y$
- c) 0
- d) Y
- e) $\frac{Y}{2}$

25. (UECE) – Uma onda sonora de 170 Hz se propaga no sentido norte-sul, com uma velocidade de 340 m/s. Nessa mesma região de propagação, há uma onda eletromagnética com comprimento de onda $2 \cdot 10^6 \mu\text{m}$ viajando em sentido contrário. Assim, é correto afirmar que as duas ondas têm

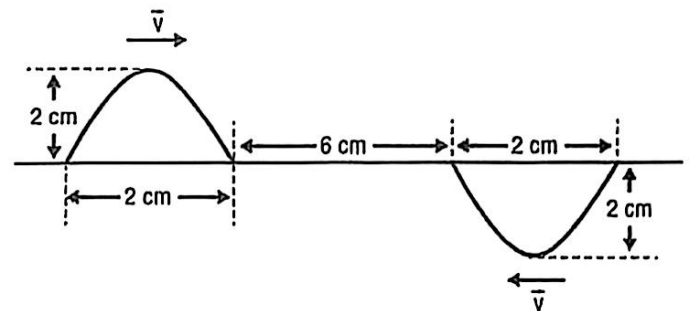
- a) mesmo comprimento de onda, e não pode haver interferência.
- b) mesmo comprimento de onda, e pode haver interferência construtiva.
- c) mesmo comprimento de onda, e pode haver interferência destrutiva.
- d) diferentes comprimentos de onda, e não pode haver interferência.

26. A figura mostra duas fontes de ondas F_1 e F_2 situadas num tanque contendo água. Essas fontes emitem ondas em concordância de fase. Assinale a alternativa que apresenta um comprimento de onda que dê uma interferência construtiva.



- a) 30 cm
- b) 25 cm
- c) 15 cm
- d) 10 cm
- e) 3 cm

27. (UFSC) A figura representa dois pulsos de onda, inicialmente separados por 6,0 cm, propagando-se em um meio com velocidades iguais a 2,0 cm/s, em sentidos opostos.



Considerando a situação descrita, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- (01) Inicialmente as amplitudes dos pulsos são idênticas e iguais a 2,0 cm.
- (02) Decorridos 8,0 segundos, os pulsos continuarão com a mesma velocidade e forma de onda, independentemente um do outro.
- (04) Decorridos 2,0 segundos, haverá sobreposição dos pulsos e a amplitude será nula nesse instante.
- (08) Decorridos 2,0 segundos, haverá sobreposição dos pulsos e a amplitude será máxima nesse instante e igual a 2,0 cm.
- (16) Quando os pulsos se encontrarem, haverá interferência de um sobre o outro e não mais haverá propagação dos mesmos.

Acústica



Fotografia: Ferenc Szelepcsényi



Ponto de partida

Em uma orquestra, os sons produzidos pelos instrumentos se combinam aos dos demais, resultando em sons únicos. Todavia, cada um dos instrumentos produz um som característico.

1. Procure explicar como o som é produzido por um instrumento e como esse som é capaz de chegar aos espectadores em diferentes pontos do teatro.
2. Quais são as principais características do som?
3. De que forma um violinista pode alterar a nota tocada em seu instrumento? E um flautista, o que ele deve fazer para produzir notas diferentes em seu instrumento?

Objetivos da unidade:

- identificar as características do som;
- compreender os fenômenos acústicos e diferenciá-los;
- definir ondas estacionárias;
- relacionar as características de ondas estacionárias em cordas e tubos;
- resolver situações-problema que envolvam Acústica.

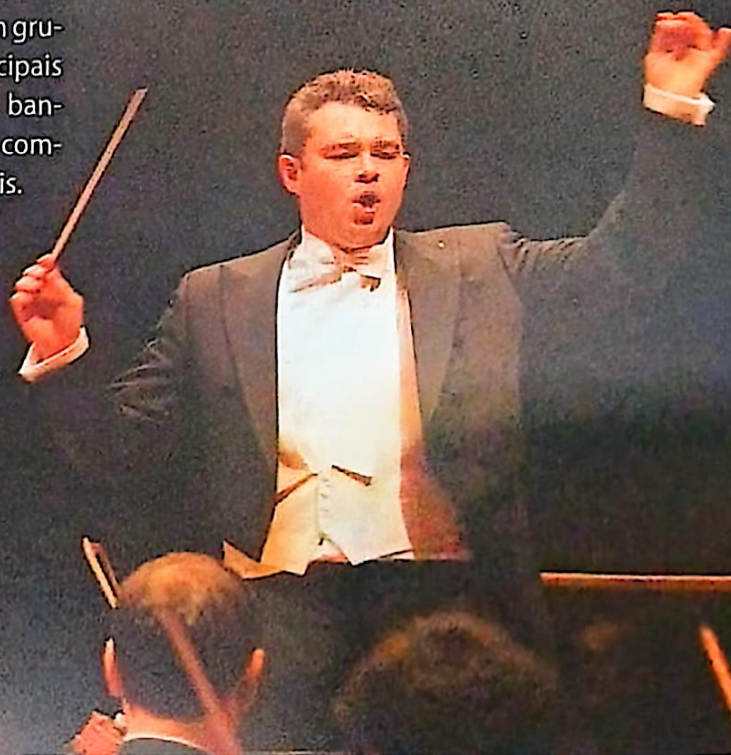
Mundo do trabalho

O maestro

O maestro, também denominado regente, é o profissional que organiza uma orquestra ou um coro, dando-lhes ritmo e unidade. A função do maestro é conduzir os músicos para que sigam as partituras em conjunto, ao mesmo tempo, de modo harmônico.

A profissão de regência envolve diversas habilidades. Além daquelas associadas a aspectos musicais, são requisitadas habilidades manuais e pedagógicas. Para associar as técnicas de diversos instrumentistas e características de diferentes instrumentos, o maestro deve ter competências específicas da musicalidade: compreensão e conhecimento de estilos, gêneros, autores e instrumentos musicais, sensibilidade audível aguçada, domínio e leitura de partituras, etc.

Embora a profissão de maestro não exija uma formação acadêmica específica, atualmente, os cursos de bacharelado em Música são cada vez mais numerosos. No mercado de trabalho, podem atuar em grupos eruditos, como orquestras municipais e estaduais, em grandes gravadoras, bandas, corais, bem como no exercício da composição de músicas e arranjos musicais.



■ O maestro tem a função de organizar a orquestra, dando unidade e coerência ao som produzido individualmente pelos instrumentos.

$$v = \lambda \cdot f$$

Características do som

Alguns povos indígenas costumavam encostar a orelha no chão rochoso para perceber, antecipadamente, a aproximação de inimigos ou de animais. Essa prática justifica-se porque as ondas sonoras propagam-se mais rapidamente em meios sólidos do que no ar.

Velocidade do som

$$v_{\text{som}} \rightarrow 340 \text{ m/s}$$

A velocidade do som depende do meio no qual ele se propaga e da temperatura desse meio. Dessa forma, independentemente da frequência com que um som é emitido, sua velocidade de propagação será sempre a mesma, desde que a temperatura seja mantida constante e não haja mudança do meio de propagação (refração). Seguem alguns exemplos:

- no ar, a 15 °C, a velocidade do som é de aproximadamente 340 m/s;
- na água do mar, a 20 °C, a velocidade do som é de 1 500 m/s;
- no ferro, a 0 °C, é de 4 480 m/s.

No caso do ar, experimentos comprovam que a velocidade de propagação do som não depende da pressão local e é diretamente proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta (escala Kelvin). Para calcular a velocidade do som no ar (v) em função da temperatura em graus Celsius (T), uma boa aproximação (entre -30 °C e 30 °C) pode ser obtida com a seguinte equação empírica: $v = 331,4 + 0,607 \cdot T$.

Qualidades fisiológicas do som

$$v_{\text{ar}} \rightarrow 340 \text{ m/s}$$

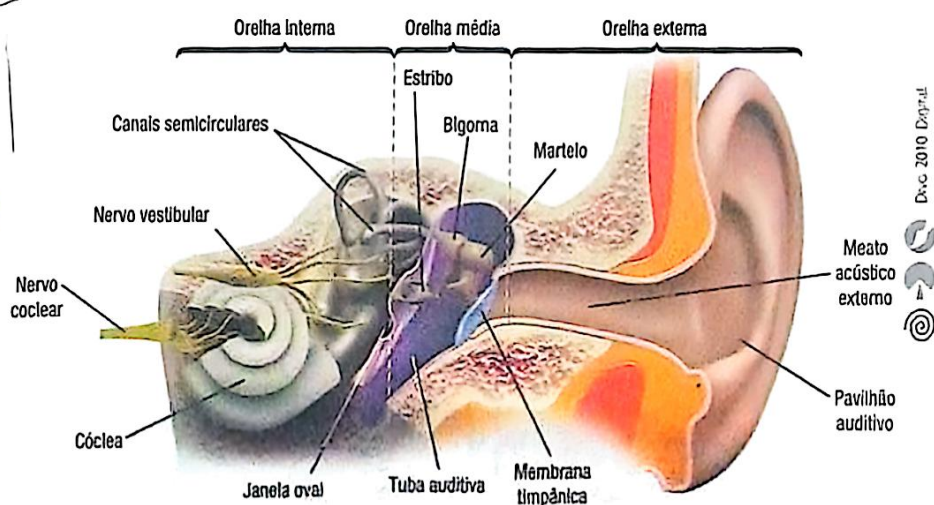
$$v_{\text{ferro}} = 4480 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{água}} = 1500 \text{ m/s}$$

Quando alguém fala algo, suas pregas vocais oscilam com a passagem de ar pela garganta, produzindo vibrações que passam a se propagar por intermédio de colisões entre as moléculas que compõem o ar (O_2 , CO_2 , N_2 , etc.). Quando a orelha de uma pessoa capta essas ondas sonoras, elas são transformadas em pulsos elétricos que, conduzidos até o cérebro pelo nervo auditivo, são interpretados e entendidos como os diversos sons conhecidos.

A anatomia da orelha humana (com a membrana timpânica, os ossículos bigorna, estribo e martelo, a cóclea e outras estruturas) só é capaz de captar e transmitir ao cérebro ondas com frequências compreendidas, aproximadamente, entre 20 Hz e 20 000 Hz.

Diferentemente do ser humano, muitos animais são capazes de ouvir sons com frequências menores que 20 Hz, chamados de infrassons, ou maiores que 20 000 Hz, chamados de ultrassons. Além da frequência, existem outras características capazes de distinguir um som de outro, como intensidade e timbre.



■ O som que chega à orelha produz vibrações na membrana timpânica, o qual transmite o sinal sonoro para regiões da orelha interna.

infrassons $\rightarrow$ menores que 20 Hz

ultrassons $\rightarrow$ maiores que 20 000 Hz

Relacionada a amplitude
 Intensidade sonora $\rightarrow$ distância

Quando o som se propaga pelo ar, existe uma vibração (movimento oscilatório) média das moléculas em torno de uma posição de equilíbrio. A intensidade sonora é uma grandeza física relacionada a essa amplitude de vibração das moléculas em relação à posição de equilíbrio. Logo, quanto maior a amplitude da onda, mais intensa ela é.

A intensidade de um som se reduz à medida que nos afastamos de sua fonte emissora. Por exemplo, em um show a céu aberto, o som próximo às caixas acústicas é de grande intensidade. Quanto mais nos afastamos das caixas, menor é a intensidade do som.

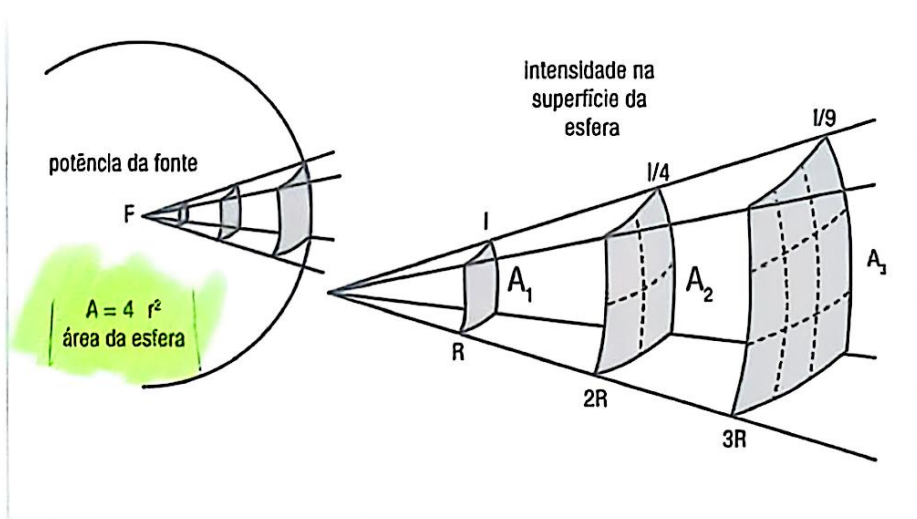
Para determinar a intensidade sonora I em uma região, deve-se efetuar a razão entre a potência sonora da fonte (em watts) e a área de uma superfície que essa onda atravessa (em m^2). Assim:

$$I = \frac{P_{ot}}{A}$$

Na equação, P_{ot} representa a potência sonora da fonte, medida em watt (W), e A indica a área em metro quadrado (m^2). Logo, a unidade de intensidade sonora é: $\frac{W}{m^2}$.

Como as ondas sonoras são tridimensionais, ao serem emitidas, elas atravessam superfícies esféricas imaginárias que têm o centro na fonte emissora. Supondo que a potência de uma fonte seja constante, pode-se imaginar que, quanto mais distante se está dela, menor a intensidade sonora percebida.

Intensidade sonora
 $\downarrow$
 $I = \frac{P_{ot}}{A}$
 $A \rightarrow \text{área}$



Nessa imagem, F representa uma fonte sonora de potência P ; R , $2R$ e $3R$ indicam as distâncias das esferas concêntricas com centro em F ; A_1 , A_2 e A_3 são as áreas das superfícies dessas esferas (parcialmente representadas pelas calotas mostradas). Utilizando a equação da área de uma superfície esférica e aplicando a equação da intensidade sonora, percebe-se que a intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte. Uma vez que a área de uma esfera é $4\pi r^2$, temos:

$(4\pi r^2)^2$

$$I = \frac{P_{ot}}{4\pi r^2}$$

Logo, quando estamos assistindo à televisão ou ouvindo rádio sem fones, podemos aumentar a intensidade do som que chega a nós de duas maneiras: aumentando a potência sonora (aumentando o volume) do televisor ou do rádio ou se aproximando dele.

A intensidade mínima audível para um ser humano é de $10^{-12} \frac{W}{m^2}$ e costuma ser representada pelo símbolo I_{min} (intensidade mínima).

Intensidade mínima audível

10^{-12}

Nível sonoro

Existem algumas atividades profissionais que necessitam de cuidados específicos para zelar pela integridade física das pessoas que as desenvolvem. Esses cuidados são necessários, por exemplo, para os mergulhadores que trabalham em plataformas petrolíferas, para pedreiros que trabalham em cima de andaimes em prédios, para policiais civis e militares e também para pessoas que ficam expostas a barulhos contínuos de grande nível sonoro.

Nesses casos, além de se resguardarem de danos permanentes na membrana timpânica com o uso de protetores auriculares, esses profissionais têm direito a receber um complemento de salário chamado adicional de insalubridade (esse adicional é pago a profissionais que desenvolvem atividades envolvendo risco à saúde).

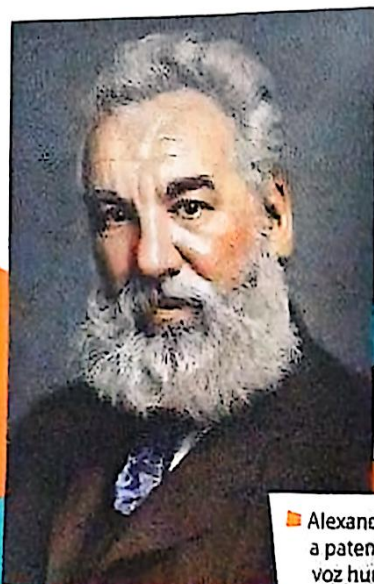
O nível sonoro (β) de uma onda de intensidade I corresponde ao expoente da potência de base 10 que determina a razão entre certa intensidade sonora e a intensidade sonora mínima audível por um ser humano $\left(\frac{I}{I_0}\right)$:

$$\frac{I}{I_0} = 10^\beta \Rightarrow \beta = \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

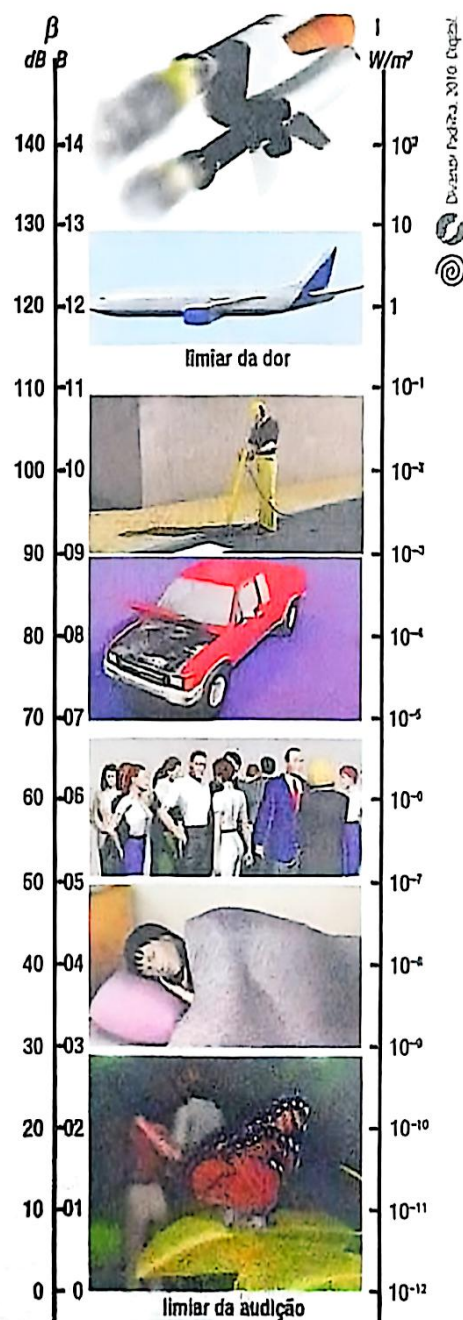
Para homenagear o cientista estadunidense Alexander Graham Bell (1847-1922), a unidade do nível sonoro é o bel, cujo símbolo é B. Na prática, comumente é utilizado um submúltiplo dessa unidade, o decibel (dB), que corresponde à décima parte do bel. Assim:

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ (dB)}$$

É importante salientar que o plural de decibel não é decibéis, mas decibels (segundo o SI, o plural das unidades é obtido simplesmente acrescentando-se a letra s no final delas). A seguir, o esquema mostra os níveis sonoros de alguns exemplos de situações cotidianas.



■ Alexander Graham Bell (1847-1922) foi o primeiro a patentear um dispositivo capaz de transportar a voz humana por meio de impulsos elétricos. Esse dispositivo recebeu o nome de telefone.



■ O nível sonoro está relacionado à intensidade acústica produzida por fontes sonoras.

Intensidade (volume) $\rightarrow$ Amplitude

Conexões

Você já pensou que muitas leis não precisariam existir se as pessoas agissem sempre com bom senso e se preocupassem não apenas com elas mesmas, mas também com os outros? Um exemplo clássico que evidencia isso se refere à chamada Lei do Silêncio. Um mito amplamente propagado em todo o Brasil é o de que uma pessoa física ou jurídica pode fazer o barulho que quiser até 22 h. A verdade é que o excesso de ruído que causa dano a alguém, a qualquer horário do dia, constitui um abuso de direito e, portanto, um ato ilícito.

O direito de não ser incomodado por ruídos de grande nível sonoro está regulamentado em nosso país há muito tempo. A partir de 1941, pelo Decreto-Lei nº 3.688, passou a valer em todo o território nacional a Lei das Contravenções Penais. Em seu capítulo IV, que versa sobre as contravenções referentes à paz pública, o artigo 42 enuncia ser proibido perturbar alguém, o trabalho ou o sossego alheio:

- I. com gritaria ou algazarra;
- II. exercendo profissão incômoda ou ruidosa, em desacordo com as prescrições legais;
- III. abusando de instrumentos sonoros ou sinais acústicos;
- IV. provocando ou não procurando impedir barulho produzido por animal de que tem a guarda.

Mas qual nível sonoro é considerado abusivo? Para isso, não existe uma regulamentação única no país; em cada cidade ou estado, órgãos como a polícia ou institutos ambientais são os responsáveis por estabelecer os limites. Para fiscalizar e lavrar autuações quando necessário, esses órgãos dispõem de aparelhos chamados decibelímetros, que medem quantos decibels estão sendo emitidos por uma fonte sonora.

O decibelímetro é um instrumento que mede o nível sonoro em decibels.

Altura

A altura de um som está relacionada à frequência com que ele é emitido. Dessa forma, um som alto corresponde a um som de alta frequência (agudo), e um som baixo corresponde a um som de baixa frequência (grave).

Quando um aparelho de som chega a incomodar pelo volume com que emite sons, é comum alguém dizer algo como: "Diminua a altura do som, porque está muito alto!". Frases como essa são muito usadas no dia a dia, mas na Física elas apresentam um erro conceitual. Se uma onda sonora é muito alta ou muito baixa, isso se refere à sua frequência. Aquilo que popularmente se costuma chamar de volume de uma onda sonora está associado à intensidade do som, vista anteriormente.

Um som alto é aquele que tem grande frequência, e não aquele que é muito intenso. Um som baixo é aquele que tem pequena frequência, e não aquele que é pouco intenso.



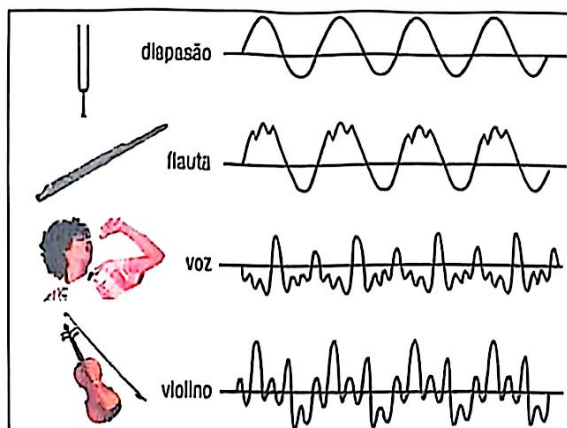
A altura é uma qualidade do som relacionada à frequência da onda.



Timbre

Quando uma mesma nota musical é tocada por diferentes instrumentos musicais, apesar de terem mesma frequência e intensidade, podemos distinguir qual dos instrumentos está produzindo cada som. Isso ocorre porque uma onda sonora tem outra propriedade, chamada de timbre, que está relacionada ao formato da onda.

O timbre é a principal característica do som que permite diferenciar e reconhecer a voz das pessoas ou os sons emitidos por instrumentos musicais diferentes. A diferenciação dos sons dos instrumentos ou das vozes pelo timbre é somada às diferenças de frequência, potência, entonação, etc.



O timbre é uma qualidade do som relacionada ao formato da onda, permitindo diferenciar diferentes instrumentos ou diferentes vozes, mesmo que emitam sons com mesma frequência.

Costuma-se dizer que o timbre é uma qualidade do som, mas, para tornar essa ideia mais palpável, é possível fazer uma comparação envolvendo duas formas de expressão artística: o timbre está associado à música como o tipo de tinta está associado à pintura. É em decorrência das diferenças de timbres que, quando um compositor escreve uma peça musical, ele deve indicar qual ou quais instrumentos devem ser tocados em cada instante, visto que eles podem emitir frequências idênticas, mas suas notas soam de modo diferente para quem as ouve.



Atividades

frequência

amplitude

1. Uma pessoa toca, ao piano, uma tecla correspondente à nota mi e, em seguida, a que corresponde à nota sol. Pode-se afirmar que serão ouvidos dois sons diferentes, porque as ondas sonoras correspondentes a essas notas têm:

- a) amplitudes diferentes;
- ☒ b) alturas diferentes;
- c) intensidades diferentes;
- d) timbres diferentes.

diferença de notas musicais

2. Uma pessoa toca, ao piano, uma tecla correspondente à nota mi e, em seguida, toca a mesma nota ao violão. Pode-se afirmar que serão ouvidos dois sons diferentes, porque as ondas sonoras correspondentes a essas notas têm:

- a) amplitudes diferentes;
- b) alturas diferentes;
- c) intensidades diferentes;
- ☒ d) timbres diferentes.

frequência

cada instrumento

3. (UFOP – MG) Sobre as ondas sonoras afirmamos que:

I. A intensidade do som é uma propriedade relacionada com a amplitude de vibração da onda sonora. Quanto maior a amplitude de vibração maior a intensidade do som produzido.

II. A altura de um som é a propriedade usada para classificá-lo como grave ou agudo e está relacionada com a frequência. Assim, um som grave tem frequência baixa e um som agudo tem frequência alta.

III. O timbre é a propriedade do som relacionada com a forma das ondas sonoras e depende da fonte que emite o som.

Marque:

- a) se e somente se I for correta;
- b) se e somente se II for correta;
- c) se e somente se II e III forem corretas;
- ☒ d) se e somente se I, II e III forem corretas.

um timbre diferente

4. Dois diapasões A e B emitem ondas sonoras de frequências 440 Hz e 715 Hz, respectivamente. Aponte a alternativa correta.

- a) O som de B é mais intenso que o de A.
b) O som de A é mais alto que o de B.
c) O som de A é mais forte que o de B.
d) O som de B é mais agudo que o de A.
e) O som de A tem timbre diferente do som de B.

5. Uma pessoa está inicialmente à distância de 20 m de uma fonte sonora puntiforme. Quantos metros essa pessoa deve se afastar da fonte para que perceba o som emitido com um quarto da intensidade que apresentava antes?

$$I_1 = \frac{P}{4\pi d_1^2} \rightarrow I_2 = \frac{P}{4\pi d_2^2} \quad (eq. 1)$$

Dividindo-se uma pela outra?

$$4 = \frac{d_2^2}{20^2} \rightarrow d_2 = 40 \text{ m}$$

$$I_2 = \frac{P}{4\pi d_2^2} \rightarrow \frac{I_1}{4} = \frac{P}{4\pi d_2^2} \quad (eq. 2)$$

Essa é a mesma distância a que a pessoa estava da fonte sonora. Como a pessoa já estava a 20 m da fonte, ela não se afastou mais 20 m.

6. A intensidade do som em um jardim sossegado é da ordem de 10^{-4} W/m^2 . Em um restaurante, tal valor é de 10^{-1} W/m^2 . Se o limiar da audição se dá a 10^{-6} W/m^2 , o nível sonoro em dB é:

- a) 20 para o jardim e 50 para restaurante;
b) 20 para o jardim e 500 para o restaurante;
c) 2 para o jardim e 5 para o restaurante;
d) 100 para o jardim e 10^5 para o restaurante;
e) 50 para o jardim e 20 para o restaurante.

sonoridade

$$\beta = \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \beta = \frac{10^{-4}}{10^{-6}} \Rightarrow \log 10^2$$

restaurante

$$\beta = \log \frac{1}{10^{-6}} \Rightarrow \beta = \log \frac{10^{-1}}{10^{-6}} \Rightarrow \log 10^5$$

$$\beta = \log 10^5$$

$$\beta = 50 \Rightarrow \beta = 50 \text{ dB}$$

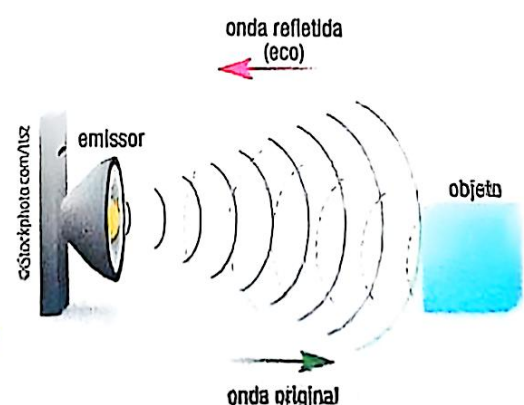
$$\beta = 20 \Rightarrow \beta = 20 \text{ dB}$$

Fenômenos acústicos

Anteriormente, foram estudados fenômenos ondulatórios, como a reflexão, a refração, a polarização e a interferência. Esses fenômenos ocorrem com ondas tanto mecânicas quanto eletromagnéticas. Na Acústica, serão abordados outros fenômenos não necessariamente restritos apenas às ondas mecânicas, mas comumente associados a elas e, em especial, às ondas sonoras.

Eco e reverberação

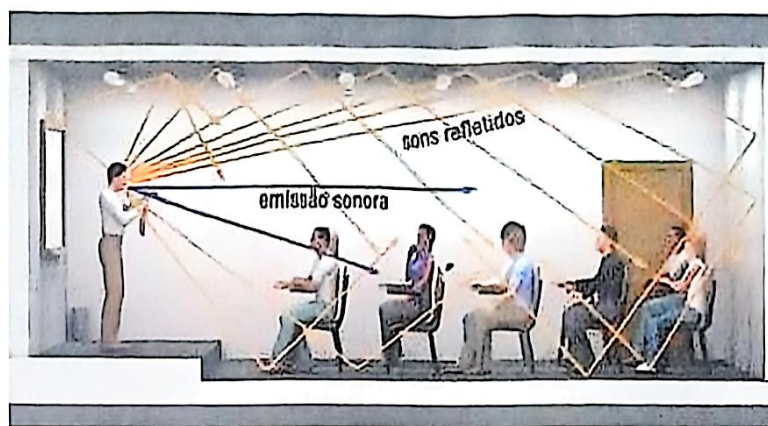
Conforme estudamos na unidade anterior, as ondas podem ser refletidas quando incidem em um meio com características diferentes do meio em que se propagam. No caso das ondas sonoras, elas se refletem ao atingirem um obstáculo que tem densidade diferente daquela do material em que se propagavam inicialmente. Dois fenômenos associados à reflexão do som são o eco e a reverberação. O que chamamos de eco é a onda sonora que retorna após atingir um obstáculo. Em outras palavras, o eco é um som que ouvimos depois de refletir em outro meio.



O eco é um fenômeno acústico decorrente da reflexão das ondas sonoras em um objeto.

A reverberação é também um fenômeno associado à reflexão do som, mas ocorre em ambientes com superfícies refletoras. Por exemplo, você já deve ter percebido que, ao falar nas escadas de um prédio, é possível distinguir com clareza a onda refletida de nossa voz que está sendo emitida.

Nessas situações, identificar o eco está associado a uma característica de nossa audição: as orelhas diferenciam dois sons quando se eles as atingirem com diferença de tempo superior a 0,1 s. Logo, em ambientes pequenos, os sons produzidos são refletidos e retornam para nós em tempos inferiores a 0,1 s. Entretanto, se o som emitido refletir em várias paredes com diferença inferior a 0,1 s, temos a reverberação.



A reverberação ocorre quando o som refletido e emitido chega a um observador após um intervalo de tempo maior que 0,1 s.

A fim de determinar a menor distância que devemos estar de um obstáculo para distinguirmos um eco e uma reverberação, podemos utilizar a definição de velocidade média – assumindo que a velocidade do som é constante. O tempo mínimo para distinção do eco e da reverberação é de 0,1 s, dessa maneira, o som chega ao obstáculo em 0,05 s e retorna em mais 0,05 s. Considerando a velocidade do som no ar de aproximadamente 340 m/s, temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 340 = \frac{\Delta s}{0,05} \Rightarrow \Delta s = 17 \text{ m}$$

17,05 m

Ou seja, para obstáculos múltiplos colocados a menos de 17 m de um observador, o som sofre reverberação e reflete-se. Para a ocorrência de eco, é necessário que a reflexão ocorra em obstáculos colocados a mais de 17 m do receptor.

eco ↑ 0,17 s

reverberação ↓ 0,1 s

Conexões

Ultrassom

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas permitiu que, atualmente, as ondas chamadas de ultrassons sejam utilizadas em aparelhos, tais como os ecobatímetros e o ultrassom medicinal.

Os ultrassons têm diversas aplicações cotidianas e são usados há mais de 100 anos pela marinha de diversos países. Eles também são utilizados em embarcações civis, nos chamados ecobatímetros (para indicar a profundidade local e a presença de cardumes), em radares e na Medicina (em tratamentos fisioterápicos e na produção de imagens para a realização de diagnósticos).

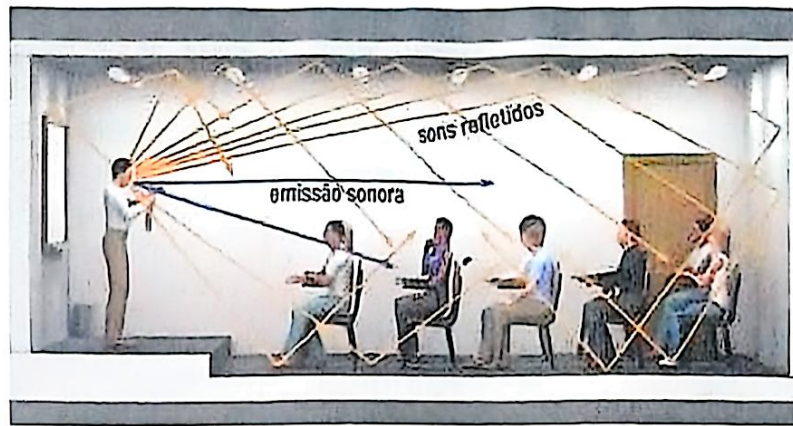


O ultrassom é um exame em que a reflexão de ondas sonoras em interfaces do tecido humano permite a formação de uma imagem.

Ressonância

Quando um sistema oscilatório é impulsionado por uma vibração periódica, sua energia mecânica pode aumentar significativamente se a frequência de aplicação da vibração for igual à (ou múltipla da) frequência natural de oscilação do sistema. Nessas situações, a frequência da vibração aplicada entra em ressonância com a frequência do sistema. Um exemplo desse fenômeno ocorre ao empurrar um balanço com frequência igual àquela com que o balanço oscila. Nesse caso, observa-se que o balanço aumenta sua amplitude de oscilação, até atingir um equilíbrio (em que a energia mecânica pela força ressonante é igualmente dissipada pelas forças dissipativas).

Nessas situações, identificar o eco está associado a uma característica de nossa audição: as orelhas diferenciam dois sons iguais se eles as atingirem com diferença de tempo superior a 0,1 s. Logo, em ambientes pequenos, os sons produzidos são refletidos e retornam para nós em tempos inferiores a 0,1 s. Entretanto, se o som emitido refletir em várias paredes com diferença inferior a 0,1 s, temos a reverberação.



A reverberação ocorre quando o som refletido e emitido chega a um observador após um intervalo de tempo maior que 0,1 s.

A fim de determinar a menor distância que devemos estar de um obstáculo para distinguirmos um eco e uma reverberação, podemos utilizar a definição de velocidade média – assumindo que a velocidade do som é constante. O tempo mínimo para distinção do eco e da reverberação é de 0,1 s, dessa maneira, o som chega ao obstáculo em 0,05 s e retorna em mais 0,05 s. Considerando a velocidade do som no ar de aproximadamente 340 m/s, temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 340 = \frac{\Delta s}{0,05} \Rightarrow \Delta s = 17 \text{ m}$$

Ou seja, para obstáculos múltiplos colocados a menos de 17 m de um observador, o som sofre reverberação e é refletido. Para a ocorrência de eco, é necessário que a reflexão ocorra em obstáculos colocados a mais de 17 m do receptor.



Conexões

Ultrassom

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas permitiu que, atualmente, as ondas chamadas de ultrassons sejam utilizadas em aparelhos, tais como os ecobatímetros e o ultrassom medicinal.

Os ultrassons têm diversas aplicações cotidianas e são usados há mais de 100 anos pela marinha de diversos países. Eles também são utilizados em embarcações civis, nos chamados ecobatímetros (para indicar a profundidade local e a presença de cardumes), em radares e na Medicina (em tratamentos fisioterápicos e na produção de imagens para a realização de diagnósticos).



O ultrassom é um exame em que a reflexão de ondas sonoras em interfaces do tecido humano permite a formação de uma imagem.

Ressonância

Quando um sistema oscilatório é impulsionado por uma vibração periódica, sua energia mecânica pode aumentar gradativamente se a frequência de aplicação da vibração for igual à (ou múltipla da) frequência natural de oscilação do sistema. Nessas situações, a frequência da vibração aplicada entra em ressonância com a frequência do sistema. Um exemplo desse fenômeno ocorre ao empurrar um balanço com frequência igual àquela com que o balanço oscila. Nesse caso, observa-se que o balanço aumenta sua amplitude de oscilação, até atingir um equilíbrio (em que a energia fornecida pela força ressonante é igualmente dissipada pelas forças dissipativas).

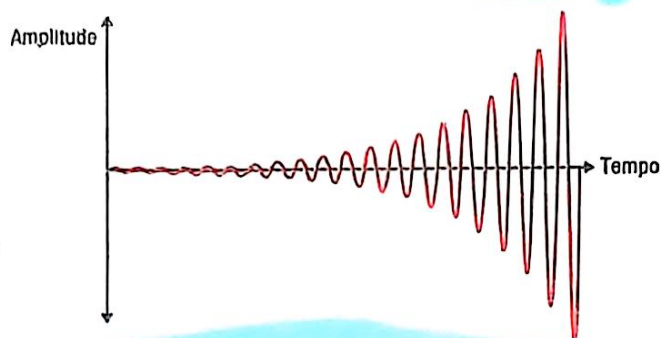
OBS: Fonte em movimento
se não em movimento

$$F_{ap} = F \cdot \frac{v_{\text{meio}} + v_o}{v_{\text{meio}}}$$

durante a aproximação da fonte sonora

$$f_{ap} = f \cdot \frac{v_{\text{meio}} - v_s}{v_{\text{meio}}}$$

Na acústica, uma corda de violão ou a membrana de um pandeiro, por exemplo, têm frequências naturais específicas. Dessa forma, se nas proximidades de um violão for colocada uma fonte emitindo ondas sonoras com frequências constantes e iguais à frequência natural de vibração de uma das cordas do violão, ocorrerá ressonância e essa corda começará a vibrar ao receber energia da fonte sonora.



A ressonância ocorre quando uma vibração é aplicada a um sistema com a mesma frequência da oscilação natural.

Em 7 de novembro de 1940, na cidade de Tacoma, nos Estados Unidos, ocorreu um dos mais célebres e trágicos casos de ressonância de que se tem notícia. Em um dia calmo, a frequência do vento que soprava naquela cidade coincidiu com a frequência de uma ponte. Ao entrar em ressonância, essa ponte começou a vibrar como se fosse constituída de um material extremamente flexível e acabou tendo sua estrutura rompida.



Para evitar acidentes como o ocorrido com a ponte de Tacoma, exércitos do mundo inteiro seguem uma importante regra: jamais marchar ao atravessar uma ponte. Como a marcha é ritmada, ou seja, tem determinada frequência com que os pés dos militares tocam o solo, há o risco de essa frequência coincidir com a frequência natural de uma ponte.

Efeito Doppler

Quando uma estrela ou galáxia se afasta da Terra, nota-se um efeito chamado *red shift* (fenômeno no qual a frequência de uma luz se desvia para o vermelho). O efeito contrário, denominado *blue shift*, ocorre quando uma estrela ou galáxia se aproxima do nosso planeta. Os registros de observações astronômicas feitas em diversas partes do mundo mostram que a maioria das estrelas sofre o desvio para o vermelho. Isso significa que elas estão se afastando da Terra, caracterizando uma expansão do Universo. Essa seria uma das evidências do acontecimento do Big-Bang, ocorrido há bilhões de anos.

Os desvios da cor da luz para o vermelho ou azul são exemplos do fenômeno conhecido como **efeito Doppler** e caracterizados por uma alteração na frequência percebida. Esses desvios, alteração na frequência de uma onda, no caso, eletromagnética, acontecem sempre que **existe movimento relativo** entre uma fonte de onda e um observador.

No caso de ondas mecânicas, esse efeito pode ser nitidamente percebido por uma pessoa quando dela se aproxima ou se afasta uma ambulância com a sirene ligada. Na aproximação da ambulância, o som emitido por ela é percebido mais agudo (maior frequência), uma vez que o número de frentes de ondas que passam pelo observador é maior.



Ao ouvirmos o som da sirene de uma ambulância se aproximando é comum perceber o aumento da frequência do som da sirene.

$$F_{ap} = F \cdot \frac{v_{\text{meio}} + v_o}{v_{\text{meio}}}$$

$$v = 170 \cdot \frac{x}{340} \cdot 2$$

$$\lambda \uparrow \downarrow f$$

$$\lambda \downarrow \uparrow f$$

$$\frac{v_1}{f_1} \cdot f_{10} = v_o + v_s$$

• Frequência aumentando e o comprimento diminuindo

$$f_{ap} = f \cdot \frac{v_s + v_o}{v_s}$$

• Frequência diminuindo e o comprimento aumentando

No afastamento, a frequência percebida fica mais grave (menor frequência), uma vez que o número de frentes de onda que passam pelo observador é menor. A partir de agora, serão estabelecidos métodos matemáticos capazes de prever essas variações na frequência aparente. Para isso, vários símbolos serão utilizados, conforme a notação a seguir:

$v_o \rightarrow$ módulo da velocidade do observador

$v_f \rightarrow$ módulo da velocidade da fonte

$v_s \rightarrow$ módulo da velocidade do som no ar

$v_{ap} \rightarrow$ módulo da velocidade aparente do som

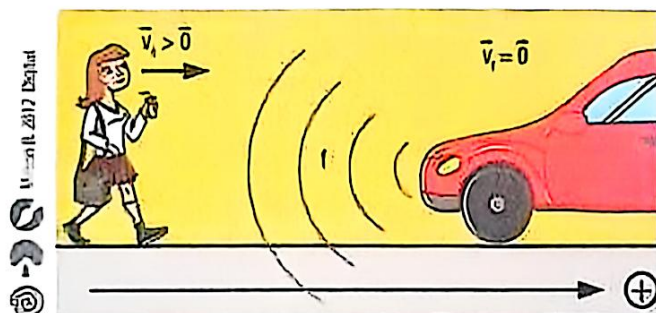
$\lambda \rightarrow$ comprimento de onda

$f \rightarrow$ frequência real do som emitido pela fonte

$f_{ap} \rightarrow$ frequência aparente do som percebido pelo observador

Observador se aproximando de uma fonte parada

Suponha um veículo parado e um observador se aproximando dele, com velocidade de intensidade v_o .



Nessa situação, a velocidade aparente (relativa) entre o observador e as ondas sonoras é igual a:

$$v_{ap} = v_o + v_s$$

A partir da velocidade de propagação de ondas, temos:

$$v_{ap} = \lambda \cdot f_{ap}$$

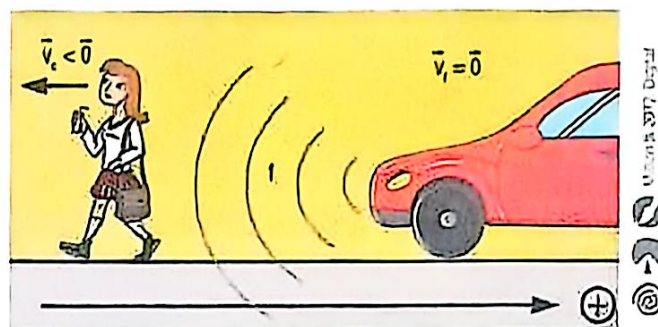
Observe que há mudança de frequência aparente em função da velocidade relativa entre observador e fonte, mas não há mudança no comprimento de onda. Assim:

$$\lambda \cdot f_{ap} = v_s + v_o$$

Como o comprimento da onda sonora é igual a $\frac{v_s}{f}$, a frequência aparente é igual a:

Observador se afastando de uma fonte parada

No afastamento do observador em relação à fonte, a situação é semelhante à anterior, mas a velocidade do observador é negativa, conforme a orientação da trajetória.

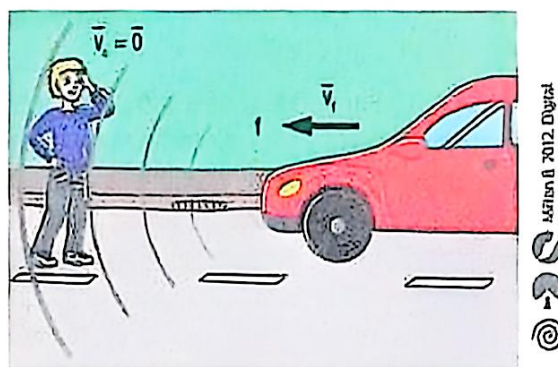


Nesse caso, a frequência aparente é igual a:

$$f_{ap} = f \cdot \frac{v_s - v_o}{v_s}$$

Fonte se aproximando de um observador parado

Quando uma fonte se aproxima com velocidade v_f de um observador parado, percebe-se uma aproximação das frentes de onda, o que proporciona uma redução do comprimento de onda do som emitido.



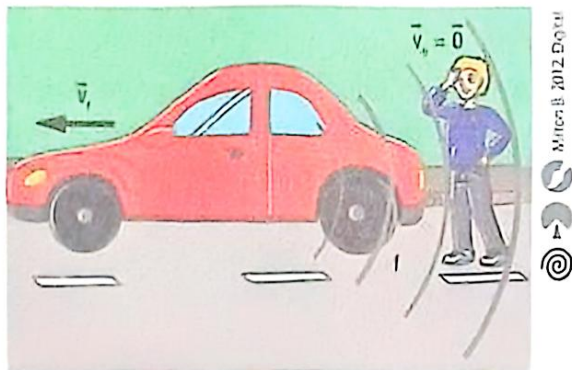
Portanto, como a fonte está em movimento, o comprimento de onda aparente é igual ao comprimento de onda do som (deslocamento do som em um período) menos o deslocamento da fonte durante o intervalo de tempo correspondente a um período: $\lambda_{ap} = \lambda - \Delta s_f$. Assim:

$$\lambda_{ap} = \lambda - v_f \cdot T \Rightarrow \frac{v_s}{f_{ap}} = \frac{v_s}{f} - \frac{v_f}{f}$$

Nessa situação, a frequência aparente é igual a:

$$f_{zo} = f \cdot \frac{v_s}{v_s - v_f}$$

Fonte se afastando de um observador parado



No caso, o comprimento de onda aparente é maior que o comprimento de onda do som emitido pela fonte parada e é determinado pela soma do comprimento de onda do som com o deslocamento da fonte durante o intervalo de tempo de um período:

$$\lambda_{ap} = \lambda + v_f \cdot T \Rightarrow \frac{v_s}{f_{ap}} = \frac{v_s}{f} + \frac{v_f}{f}$$

Fonte: em, f e o som

No afastamento da fonte em relação ao observador, a situação é semelhante à anterior, com o sinal da velocidade de trocado. Da relação anterior, tem-se que a frequência percebida pelo observado é igual a:

$$f_{op} = f \cdot \frac{v_s}{v_s + v_f}$$

Observando atentamente as quatro equações obtidas nas situações anteriores, é possível estabelecer uma única expressão matemática que reúne as informações apresentadas por todas elas. Para isso, devem-se seguir estas orientações,

- Construa um eixo orientado no sentido que vai do observador para a fonte.
- Quem se movimentar a favor dessa orientação terá velocidade com sinal positivo e quem se movimentar no sentido contrário ao dessa orientação terá velocidade com sinal negativo.
- Com base nessa regra de sinais, deve-se utilizar a seguinte equação genérica:

$$f_{ap} = f \cdot \frac{v_s \pm v_o}{v_s \pm v_f}$$

Handwritten annotations: 'velocidade do som' (pointing to v_s), 'velocidade do observador' (pointing to v_o), 'velocidade da fonte' (pointing to v_f), 'velocidade de observador' (pointing to the denominator).



Atividades

1. (AMAN – RJ) Em um forno de micro-ondas, o processo de aquecimento é feito por ondas eletromagnéticas que atingem o alimento ali colocado, incidindo assim nas moléculas de água nele presentes. Tais ondas, de frequência 2,45 GHz, atingem aquelas moléculas, que, por possuírem esta mesma frequência natural, passam a vibrar cada vez mais intensamente. Desse modo, podemos afirmar que o aquecimento descrito é decorrente do seguinte fenômeno ondulatório:

- batimento;
- refração;
- interferência;
- ressonância;
- difração.

2. Um atirador dispara uma arma cujo som se propaga no ar com velocidade de 340 m/s. Após 8 s, o atirador ouve o eco do som emitido no disparo. Calcule a distância entre o atirador e a superfície que refletiu o som.

Handwritten solution:

$$d = v \cdot t/2$$

$$340 = \frac{d}{4}$$

$$\frac{340}{1} \times \frac{4}{1} = 1360 \text{ m}$$

Additional notes: 'ada → 4s', 'volta → 4s', 'eco → 8s', 'afirmação 1', 'd', 'v = d/T'.

$$v = f \cdot \lambda$$

$$k = 1000 = 10^3$$

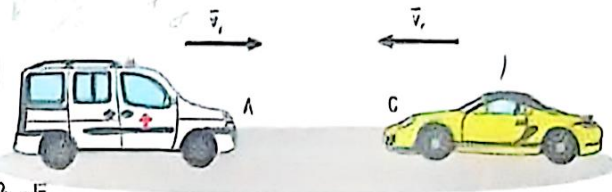
$$10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$$

3. (UFG - GO) Os morcegos são mamíferos voadores que dispõem de um mecanismo denominado biossonar ou ecolocalizador que permite ações de captura de insetos ou o desvio de obstáculos. Para isso, ele emite um ultrassom a uma distância de 5 m do objeto com uma frequência de 100 kHz e comprimento de onda de $3,5 \cdot 10^{-3}$ m. Dessa forma, o tempo de persistência acústica (permanência da sensação auditiva) desses mamíferos voadores é, aproximadamente,

- a) 0,01 s d) 0,10 s
b) 0,02 s e) 0,30 s
c) 0,03 s

$$v = \frac{d}{t}$$

$$v = \lambda \cdot f$$



5. Segundo a figura a seguir, A é uma ambulância que se move com velocidade de 30 m/s e C é um carro que se move no sentido contrário ao da ambulância com uma velocidade de 10 m/s.

$$F_{ap} = 900 \left(\frac{330 + 10}{330 - 30} \right)$$

$$\frac{900 \cdot 340}{300} = \frac{30600}{30}$$

$$900 \cdot \frac{340}{300} = 1020 \text{ Hz}$$

6. Em relação à questão anterior, determine agora a frequência aparente do som ouvido pelo motorista de C depois do cruzamento de seu carro com a ambulância.

$$F_{ap} = 900 \cdot \left(\frac{330 - 10}{330 + 30} \right)$$

$$900 \cdot \frac{320}{360} = 800 \text{ Hz}$$

$$900 \cdot \frac{8}{9} = \frac{6400}{9} = 800$$

$$6400 = 800$$

7. (ITA - SP) Quando em repouso, uma corneta elétrica emite um som de frequência 512 Hz. Numa experiência acústica, um estudante deixa cair a corneta do alto de um edifício. Qual a distância percorrida pela corneta, durante a queda, até o instante em que o estudante detecta o som na frequência de 485 Hz? (Despreze a resistência do ar e considere $g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

$$a) 13,2 \text{ m}$$

$$b) 18,3 \text{ m}$$

$$c) 15,2 \text{ m}$$

$$d) 19,3 \text{ m}$$

$$e) 16,1 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{2 g \cdot h}$$

4. (UFPA) Uma fonte em repouso emite um som de frequência 2000 Hz que se propaga com velocidade de 300 m/s. A velocidade com que um observador deve se aproximar dessa fonte, de modo a perceber um som de frequência de 4000 Hz, vale, em m/s:

- a) 300 d) 600
b) 450 e) 650
c) 500

$$4000 = 2000 \cdot \left(\frac{300 + v_o}{300 - 0} \right)$$

$$4 = 2 \cdot \left(\frac{300 + v_o}{300} \right) \Rightarrow 2 = \frac{300 + v_o}{300}$$

$$\frac{4}{1} = \frac{600 + 2v_o}{300} \Rightarrow 2 = 1 + \frac{v_o}{300}$$

$$1200 = 600 + 2v_o \Rightarrow 600 = 2v_o \Rightarrow v_o = 300$$

$$-600 = 1200$$

$$2/1 \rightarrow$$

$$1 = \frac{v_o}{300} \Rightarrow v_o = 300$$

$$300 = v_o$$

distância - 100

afixar - 100

o som da ambulância

$$\frac{30600}{30} = 1020 \text{ Hz}$$

900

velocidade do som no ar = 340 m/s

onda

harmônico

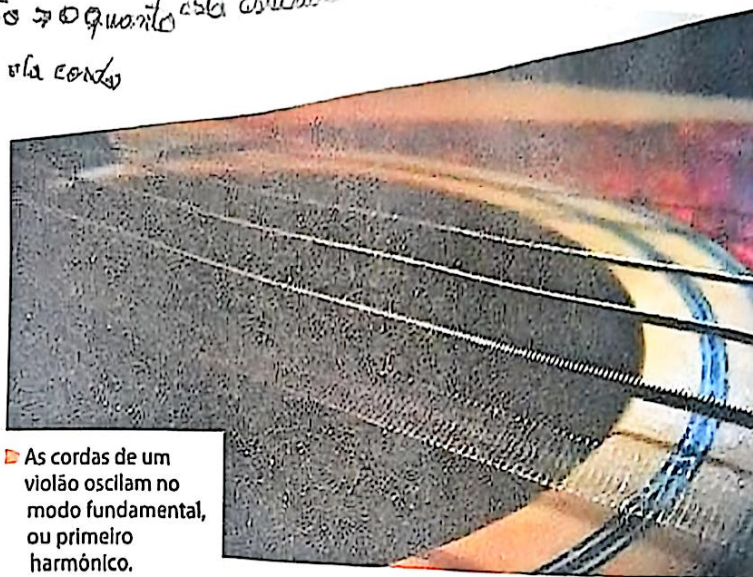
comprimento

$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ tração $\rightarrow$ o quanto está esticada
 μ $\rightarrow$ unidade da corda

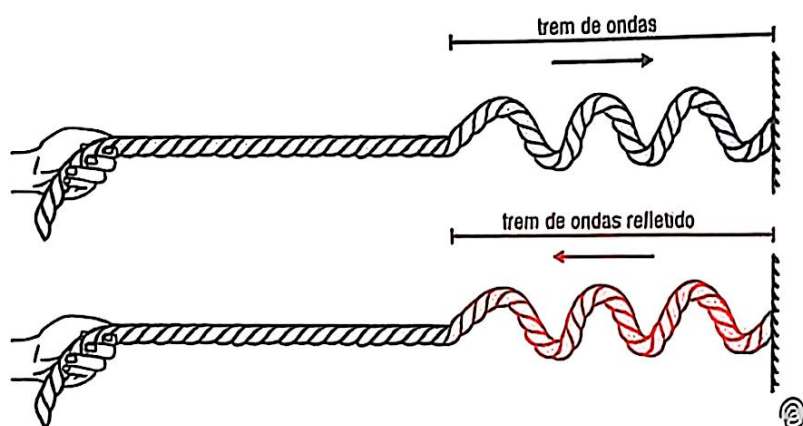
Ondas estacionárias

Ao tocar as cordas de um violão, percebemos um movimento oscilatório, como se não houvesse uma onda se propagando por ela. Esse tipo de onda, que se forma nas cordas de um violão e parece não se propagar, é chamado onda estacionária.

Suponha uma corda com uma das extremidades fixa em um suporte rígido e a outra ligada a uma fonte de ondas, como a mão de uma pessoa. Se a fonte criar perturbações com frequência constante, produzindo alguns pulsos sucessivos e periódicos, eles se propagarão ao longo da corda e sofrerão reflexão na extremidade fixa, como mostram as figuras.



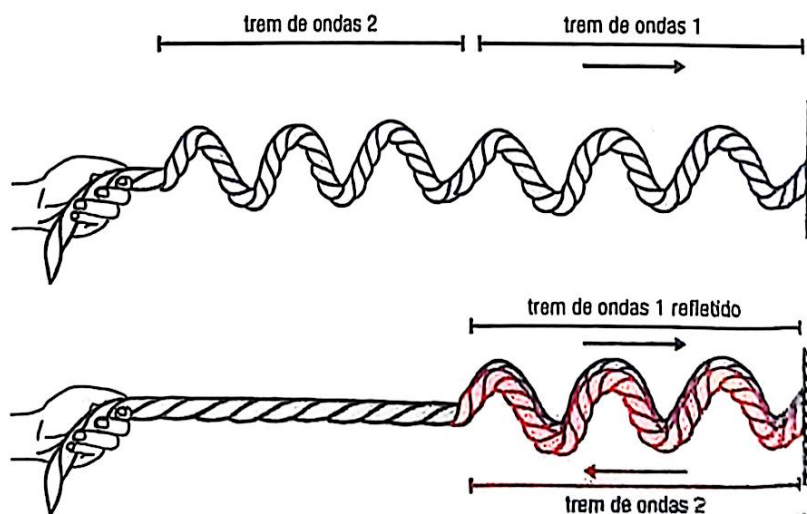
As cordas de um violão oscilam no modo fundamental, ou primeiro harmônico.



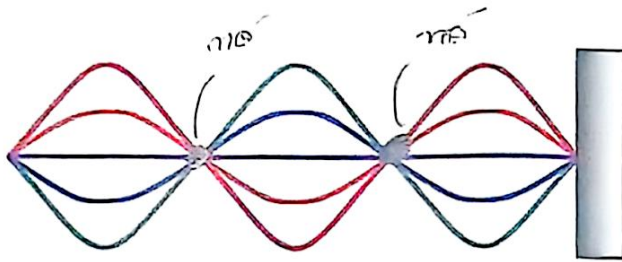
Um trem de ondas, ao refletir em uma extremidade fixa, retorna com mesma velocidade de propagação.

A onda retorna com as mesmas características ao ser emitida pela fonte. Considere, agora, que a pessoa produza dois trens de ondas sucessivos. Observe que, após o primeiro trem de onda refletir na extremidade fixa, ele retorna e interfere no segundo trem de onda. Dependendo do instante observado, essa interferência será do tipo construtiva ou destrutiva.

Quando a fonte de onda produz sucessivos trens de ondas de modo contínuo, há, dependendo da relação entre o comprimento de onda e o comprimento da corda, situações em que esse padrão de interferência é continuamente reproduzido, formando uma onda estacionária.

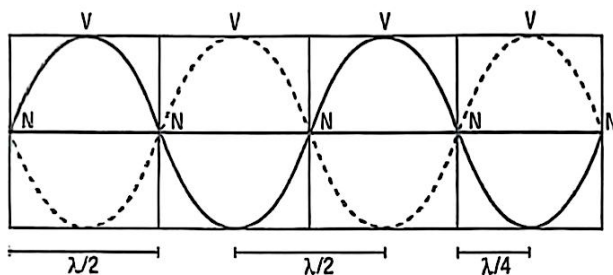


O anteparo onde as ondas são refletidas pode ser considerado uma fonte secundária de ondas (pois não produz ondas próprias). Dependendo do comprimento da corda e do comprimento de onda, essa fonte pode estar em fase ou fora de fase em relação à fonte de onda primária.



A sobreposição das ondas em cordas pode produzir um padrão estacionário.

A figura a seguir é um esquema de uma onda estacionária obtida em uma corda presa a uma parede e sendo perturbada na outra extremidade.



Nessa figura, os ventres (V) correspondem aos pontos que oscilam com máxima amplitude, ou seja, aqueles que ora são cristas, ora são vales; os nós ou nodos (N) correspondem aos pontos que permanecem o tempo todo sobre a linha central da onda e não apresentam movimento oscilatório.

Pode-se notar que a distância entre dois nós consecutivos ou dois ventres consecutivos é igual à metade do comprimento de onda ($\frac{\lambda}{2}$) e que a distância entre um ventre e um nó consecutivos é igual a um quarto do comprimento de onda ($\frac{\lambda}{4}$). Essas figuras geométricas compreendidas entre dois nós consecutivos são denominadas fusos e, como mostra a figura, têm comprimento equivalente a $\frac{\lambda}{2}$.

Ondas estacionárias em cordas

Antes de ser tocado, um violão precisa ser afinado para que as notas dedilhadas produzam sons harmônicos. Existem aparelhos para afinação eletrônica: basta conectá-los ou aproximá-los do instrumento e tocar a corda e ser afinada para perceber (por meio de uma escala ou de avisos sonoros) se ela está emitindo notas com as frequências desejadas.

Para afinar um violão, costuma-se girar uma espécie de carafuso (chamado de tarraxa) que enrola ou desenrola parte dessa corda, tracionando-a mais ou afrouxando-a. Imagine uma corda homogênea de comprimento L e massa m que se encontra tracionada nos seus extremos

$$V = \frac{\lambda}{T} = \frac{F}{\mu} = F$$

com uma força de tração de intensidade T . Ao fazer vibrar essa corda, as ondas transversais produzidas se propagam por ela com módulo de velocidade v . Conforme estudamos anteriormente, o módulo da velocidade é determinada pela Relação de Taylor:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

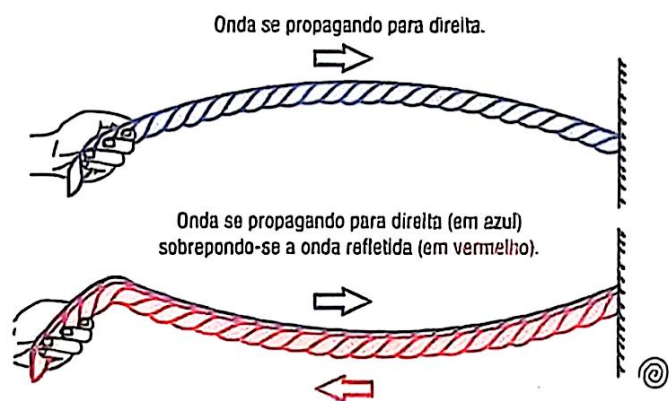
A densidade linear (μ) da corda é igual a $\frac{m}{L}$.

Uma corda sonora, ao vibrar, pode emitir um conjunto de frequências denominadas harmônicos. Esses harmônicos apresentam frequências que são múltiplos inteiros da menor frequência que a corda pode emitir e que é denominada 1º harmônico ou frequência fundamental.

Harmônicos em cordas

Os harmônicos produzidos em cordas são resultados de interferências construtivas e destrutivas das ondas emitidas pela fonte e refletidas na extremidade fixa. Vamos compreender como isso ocorre para o primeiro harmônico.

Considere uma onda produzida com comprimento de onda igual ao dobro do comprimento da corda na qual está contida. Após meio período, a onda produzida pela fonte (em azul) atinge a extremidade fixa e começa a ser refletida para baixo (em virtude da inversão de fase). A onda, após a reflexão, interfere construtivamente com a onda que é produzida pela fonte primária.



A onda refletida (vermelha) interfere construtivamente com a onda emitida pela fonte, pois as duas são produzidas em fase.

Note que a fonte de ondas sonoras está produzindo vibrações para cima e para baixo. No primeiro momento da ilustração, uma crista foi produzida e atinge a extremidade fixa. No segundo momento da ilustração, um vale é produzido ao mesmo tempo que a crista que

Frequência igual da qual harmonico

Primeiro harmônico, fundamental

$$F_1 = 200 \text{ Hz} \rightarrow F_2 = F_1 \quad F_3 = F_1$$

associação o comprimento da corda com a frequência

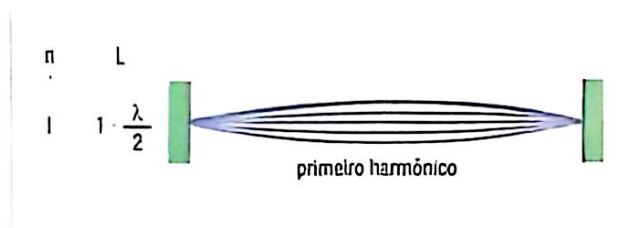
Tubo

L = comprimento do tubo

se refletiu com inversão de fase está retornando. Logo, há uma interferência construtiva. No ponto central da corda a amplitude é máxima, mas, nas extremidades, ela é nula.

Esse padrão pode ser reproduzido para outras razões entre o comprimento de onda e o comprimento de corda, gerando outros harmônicos:

- No primeiro harmônico, o comprimento da corda é igual a uma metade do comprimento de onda.



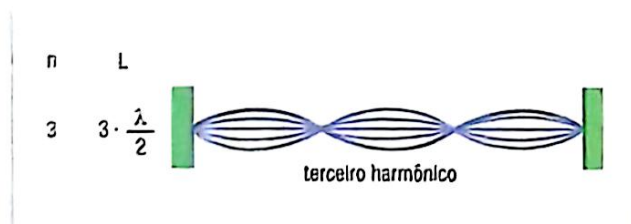
O primeiro harmônico tem somente um ventre e dois nós.

- No segundo harmônico, o comprimento da corda é igual a duas metades do comprimento de onda.



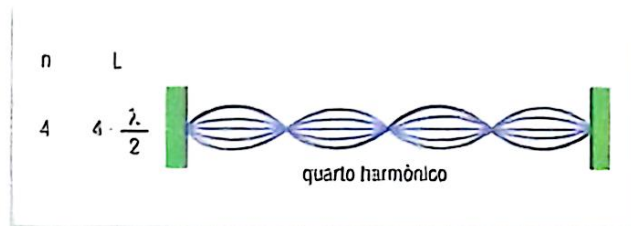
O segundo harmônico tem dois ventres e três nós.

- No terceiro harmônico, o comprimento da corda é igual a três metades do comprimento de onda.



O terceiro harmônico tem três ventres e quatro nós.

- No quarto harmônico, o comprimento da corda é igual a quatro metades do comprimento de onda.



O quarto harmônico tem quatro ventres e cinco nós.

- No quinto harmônico, o comprimento da corda é igual a cinco metades do comprimento de onda.



O quinto harmônico tem cinco ventres e seis nós.

Observe que, de modo geral, o número do harmônico n está vinculado à relação entre o comprimento da corda e o comprimento de onda:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

comprimento da corda *comprimento de onda*

Muito embora o comprimento da corda seja uma constante, pois estamos tratando de cordas incompressíveis, o comprimento de onda tem uma relação com a frequência da onda. Da equação da velocidade de onda, temos $\lambda = \frac{v}{f}$, assim:

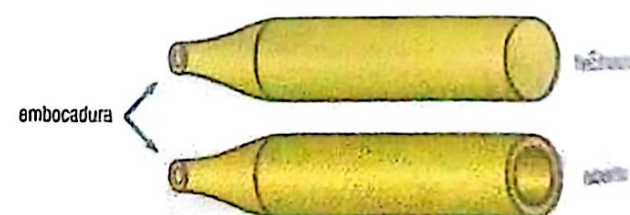
$$L = n \cdot \frac{v}{2f} \Rightarrow f = n \cdot \frac{v}{2L}$$

Generalizando, para qualquer harmônico obtido em cordas sonoras, o número de ventres é igual ao número do harmônico emitido pela corda.

- $f_n = n \cdot \frac{v}{2L}$ ou $f_n = n \cdot f_1$ (n é natural, excluindo o zero)
- $f_1 = \frac{v}{2L}$

Ondas estacionárias em tubos

Na Física, costuma-se chamar de tubo sonoro todo tubo que, ao ser percorrido por um jato de ar, tem a capacidade de produzir ondas sonoras, ou seja, de emitir sons. Um tubo sonoro pode ser classificado em aberto ou fechado, dependendo da constituição de sua estrutura.



O harmônico formado em um tubo depende de ele ser aberto ou fechado e do comprimento do tubo.

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{fundamental} \rightarrow L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2} =$$

$$L = \lambda$$

$$L \in \text{sempre a metade de } \lambda$$

$$4 = \frac{\lambda}{2} \quad \lambda = 8$$

$$L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$L = \lambda$$

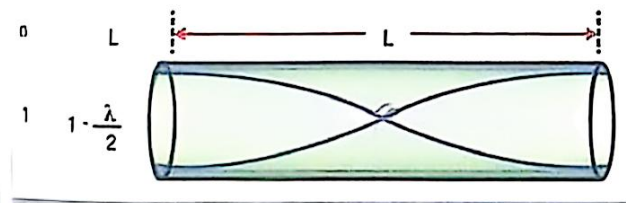
A embocadura é a região em que o ar é soprado, sendo dirigido para o interior do tubo. Após o sopro, no interior do tubo, forma-se uma onda estacionária cobrindo toda sua extensão.

Fisicamente, a maior diferença entre as duas espécies de tubo é que, nos abertos, a onda estacionária apresenta um ventre na extremidade oposta à da embocadura, enquanto, nos fechados, nesse mesmo local, se forma um nó. Isso modifica sensivelmente as características de cada um dos tipos de tubo, conferindo-lhes até equações diferentes para cálculos de frequências dos diversos harmônicos.

Harmônicos em tubos abertos

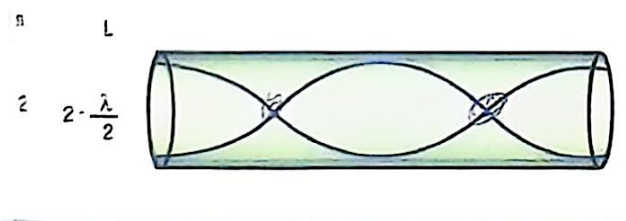
Conforme foi visto, os tubos abertos apresentam as duas extremidades abertas para o meio externo. Nesse caso, a onda estacionária forma ventres nas duas pontas do tubo. O número de nós formados coincide com o número do harmônico correspondente. Assim, tem-se um nó para o primeiro harmônico, dois para o segundo, três para o terceiro e assim sucessivamente.

- No primeiro harmônico, o comprimento do tubo é igual a uma metade do comprimento de onda.



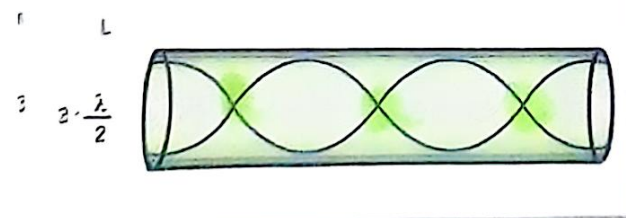
O primeiro harmônico tem somente um nó.

- No segundo harmônico, o comprimento do tubo é igual a duas metades do comprimento de onda.



O segundo harmônico tem dois nós.

- No terceiro harmônico, o comprimento do tubo é igual a três metades do comprimento de onda.



O terceiro harmônico tem três nós.

Observe que o número do harmônico n está vinculado à relação entre o comprimento do tubo e o comprimento de onda:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Da equação da velocidade de onda $\left(\lambda = \frac{v}{f}\right)$, temos:

$$L = n \cdot \frac{v}{2f} \Rightarrow f = n \cdot \frac{v}{2L}$$

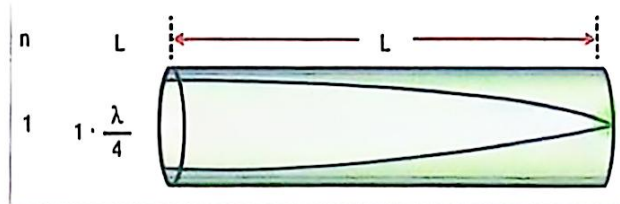
Generalizando, para qualquer harmônico obtido em tubos sonoros, o número de nós é igual ao número do harmônico emitido pelo tubo.

- $f_n = n \cdot \frac{v}{2L}$ ou $f_n = n \cdot f_1$ (n é natural, excluindo o zero)
- $f_1 = \frac{v}{2L}$

Harmônicos em tubos fechados

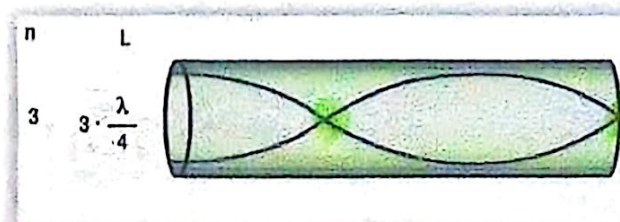
Os tubos fechados apresentam uma extremidade aberta para o meio externo e a outra fechada. Nesse caso, a onda estacionária forma ventres em uma das pontas do tubo e nó na outra. Segundo as próximas figuras, o número de quartos de ondas ($\frac{\lambda}{4}$, semífusos) formados coincide com o número do harmônico correspondente. Nos tubos fechados, não se formam harmônicos pares.

- No primeiro harmônico, o comprimento do tubo é igual a um quarto do comprimento de onda.



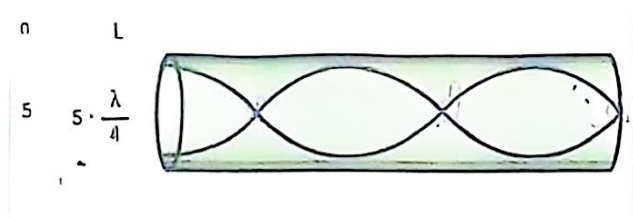
O primeiro harmônico tem um quarto de onda (um semífuso de onda).

- No terceiro harmônico, o comprimento do tubo é igual a três quartos do comprimento de onda.



O terceiro harmônico tem três quartos de onda (três semífusos de onda).

- No quinto harmônico, o comprimento do tubo é igual a cinco quartos do comprimento de onda.



O quinto harmônico tem cinco quartos de onda (cinco semiciclos de onda).

Observe que o número do harmônico n está vinculado à relação entre o comprimento do tubo e o comprimento de onda:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{4} \quad (n \text{ é um natural ímpar})$$

Da equação da velocidade de onda $\left(\lambda = \frac{v}{f}\right)$, temos que:

$$L = n \cdot \frac{v}{4f} \Rightarrow f = n \cdot \frac{v}{4L} \quad (n \text{ natural e ímpar})$$

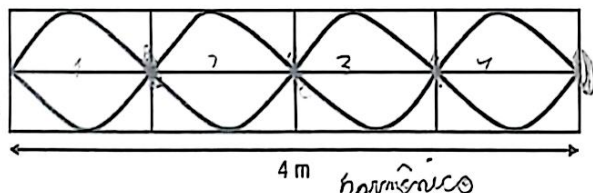
Generalizando, para qualquer harmônico obtido em tubos sonoros, o número de quartos de onda é igual ao número do harmônico emitido pelo tubo.

- $f_n = n \cdot \frac{v}{4L}$ ou $f_n = n \cdot f_1$ (n é um natural ímpar)
- $f_1 = \frac{v}{4L}$



Atividades

- A figura mostra uma onda estacionária produzida numa corda que se move com velocidade de 16 m/s. Com base nessas informações, determine:



- o comprimento de um fuso;

$v = 16$ $L = 4$ $n = 4$

$\frac{n \text{ de } \lambda}{\text{Comp. Total}} = \frac{4}{4} = 1 \text{ m por fuso}$

$\frac{4}{4} = 1 \text{ m por fuso}$ $\frac{4}{4} = 1 \text{ m por fuso}$ $\frac{4}{4} = 1 \text{ m por fuso}$

- o harmônico que está representado na figura;

4º harmônico

- o comprimento de onda; $v = f \cdot \lambda$

$\lambda = \frac{v}{f}$ $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

$4 = 4 \cdot \frac{\lambda}{2}$ $4 = \frac{2}{4} \cdot \frac{\lambda}{2}$

$4 = 2 \cdot \lambda$ $4 = 2 \cdot \lambda$ $\lambda = 2$

$4 = 2 \cdot \lambda$ $4 = 2 \cdot \lambda$ $\lambda = 2$

$4 = 2 \cdot \lambda$ $4 = 2 \cdot \lambda$ $\lambda = 2$

- a frequência dessa onda.

$\lambda = \frac{v}{f}$

$\frac{2}{1} = \frac{16}{f}$ $2f = 16$ $f = 8$

$f = \frac{16}{2} = 8$

- (ITA – SP) Uma onda transversal é aplicada sobre um fio preso pelas extremidades, usando-se um vibrador cuja frequência é 50 Hz. A distância média entre os pontos que praticamente não se movem é 47 cm. Então a velocidade das ondas nesse fio é:

- 47 m/s $f = 50 \text{ Hz}$
- 23,5 m/s $L \rightarrow 47 \text{ cm}$
- 0,94 m/s $0,47 \text{ m}$
- 1,1 m/s
- outro valor.

$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

$0,47 = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$\lambda = 2 \cdot 0,47$

$\lambda = 0,94$

$v = f \cdot \lambda$

$v = 50 \cdot 0,94$

$v = 47$

3. Uma corda de comprimento 30 cm forma uma onda estacionária de velocidade 1,2 m/s. Calcule:

a) a frequência do som fundamental;

$$L = 0,3 \text{ m}$$

$$F_1 = 1^{\circ} \text{ harmônico?}$$

$$n = 1$$

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$0,3 = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{0,3}{1} = \frac{\lambda}{2}$$

$$0,6 = \lambda$$

$$F = \frac{v}{\lambda} = \frac{1,2}{0,6} = 2 \text{ Hz}$$

b) a frequência do 3º harmônico;

$$F_1 = 2 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 4 \text{ Hz}$$

$$F_3 = 6 \text{ Hz}$$

c) o comprimento de onda do 3º harmônico

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$0,3 = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$3\lambda = 0,3 \cdot 2$$

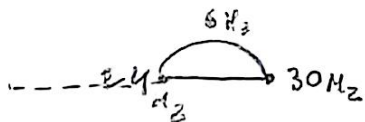
$$3\lambda = 0,6$$

$$\lambda = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ m}$$

4. (UFPR) Uma onda estacionária, de frequência igual a 24 Hz, é estabelecida sobre uma corda vibrante fixa nos extremos. Sabendo-se que a frequência imediatamente superior a essa, que pode ser estabelecida na mesma corda, é de 30 Hz, qual é a frequência fundamental da corda?

$$F = 24 \text{ Hz}$$

$$F = 30 \text{ Hz}$$



$$2 \cdot 12 \div 6 \text{ Hz} = 4$$

5. O som fundamental emitido por um tubo sonoro aberto de comprimento 50 cm é de 340 Hz. Calcule:

a) a velocidade das ondas no tubo;

$$L = 50 \text{ cm}$$

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$F_{\text{fund.}} = 340 \text{ Hz}$$

$$0,5 \text{ m} = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{0,5}{1} = \frac{\lambda}{2}$$

$$1 = \lambda$$

$$v = 340 \cdot \lambda$$

$$v = 340 \cdot 1 \rightarrow v = 340 \text{ m/s}$$

b) a frequência do 5º harmônico;

$$F_5 = 5 \cdot f_1 \rightarrow 5 \cdot 340 \text{ m/s}$$

$$1700 \text{ Hz}$$

c) o comprimento de onda do 5º harmônico.

$$v = \lambda \cdot f \rightarrow v = \lambda_5 \cdot f_5$$

$$340 = \lambda_5 \cdot 1700$$

$$340 = 1700 \cdot \lambda_5$$

$$340 = 1700 \lambda_5$$

$$\lambda_5 = 0,2 \text{ m}$$

6. (CESESP - PE) Três frequências sucessivas de um tubo de órgão aberto em ambas extremidades são as seguintes: 222 Hz, 296 Hz e 370 Hz. Determine a frequência (em Hz) do harmônico fundamental:

$$\begin{array}{r} 296 \\ - 222 \\ \hline 074 \text{ Hz} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 296 \\ - 222 \\ \hline 074 \end{array}$$

frequência fundamental

$$F_{\text{fundamental}} = 74 \text{ Hz}$$

quando diz a frequência harmônicas

consecutivas

→ múltiplos de 74 Hz

Q As fotografias a seguir são de instrumentos musicais. Esses instrumentos podem ser classificados em instrumentos de corda, tubos abertos ou fechados. Pesquise:

1. qual é o instrumento tocado;
2. sua classificação (corda, tubo aberto ou tubo fechado).



©iStockphoto.com/Nov32



©iStockphoto.com/Nov32



©iStockphoto.com/Nov32



©Shutterstock/moo357



©iStockphoto.com/forberg



©iStockphoto.com/Andriy



©iStockphoto.com/Nov34



©iStockphoto.com/zavign



©iStockphoto.com/Nov34

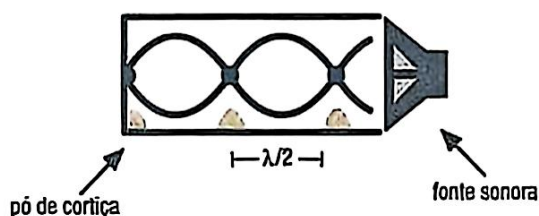


Tubo de Kundt

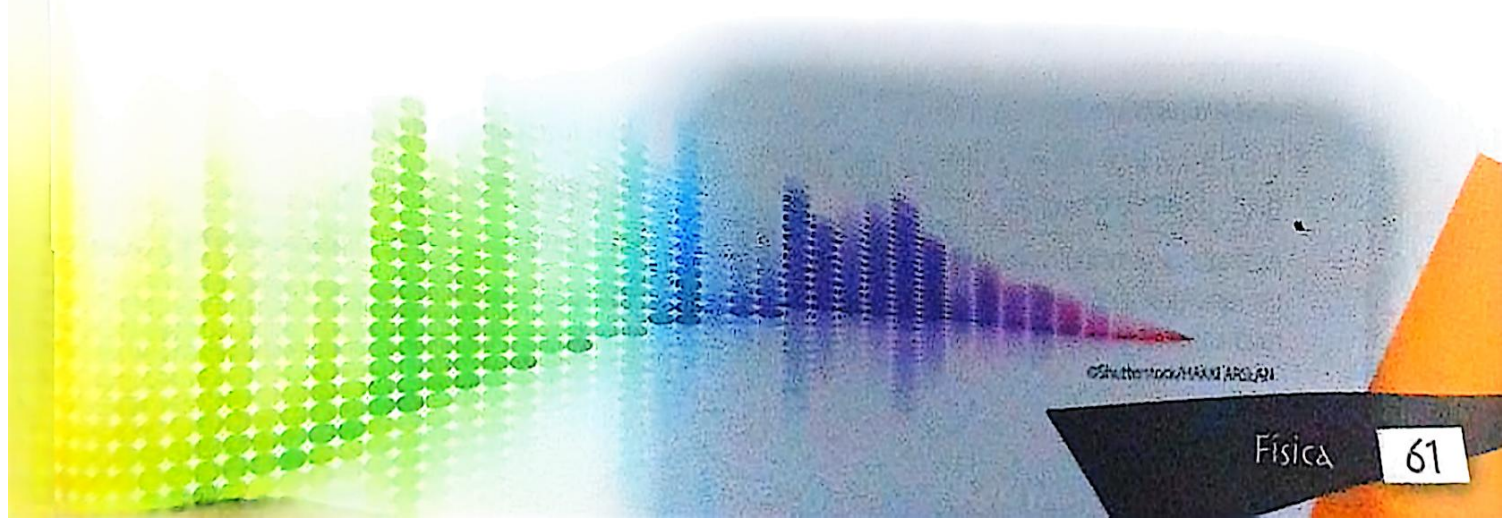
O físico alemão August Kundt (1839-1894) sabia que a velocidade do som em um meio gasoso depende da massa molecular e da temperatura do gás. Dessa forma, mantida constante a temperatura, a velocidade do som no gás hidrogênio é diferente, por exemplo, da velocidade do som no gás nitrogênio. Vale, ainda, lembrar que a velocidade do som não depende da pressão do gás em que ele se propaga.

Para determinar a velocidade do som em um gás qualquer, Kundt elaborou um método brevemente descrito na sequência de passos a seguir.

1. Utilizando um tubo de vidro transparente, mantém-se uma extremidade fechada e na outra extremidade instala-se um êmbolo móvel.
2. Insere-se, no interior do tubo, um pouco de talco ou pó de cortiça.
3. Retira-se o ar do tubo e insere-se nele o gás no qual se deseja medir a velocidade do som.
4. Nas proximidades do vidro, coloca-se uma fonte de ondas de frequência constante (um diapasão ou um alto-falante).
5. Coloca-se a fonte para emitir ondas em uma frequência previamente determinada.
6. Deslocando-se o êmbolo, altera-se lentamente o comprimento útil do tubo até que se obtenha uma onda estacionária. Constata-se a formação dessa onda quando o pó de cortiça (talco) começa a se acumular em montículos, evidenciando os nós (pontos em que a onda não apresenta vibração). Observe um esquema desse experimento:

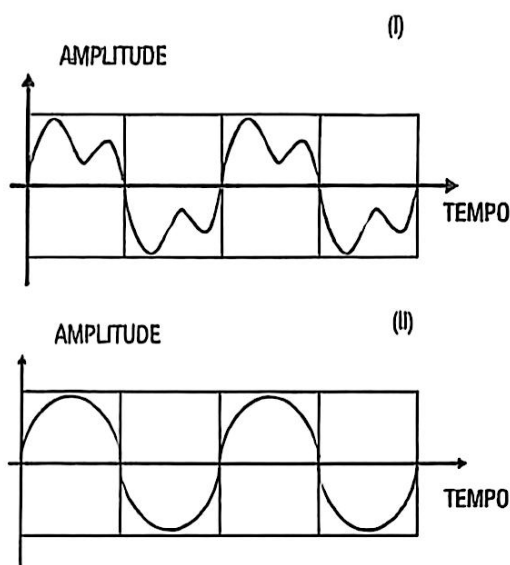


Conforme é possível verificar na figura anterior, medindo a distância entre dois montículos de farinha de cortiça (d), obtém-se o comprimento de um fuso, ou seja, meio comprimento de onda ($\frac{\lambda}{2}$). Assim, pode-se escrever que $d = \frac{\lambda}{2}$ ou $\lambda = 2 \cdot d$. Aplicando-se a equação fundamental da ondulatória, tem-se: $v = \lambda \cdot f$ ou $v = 2 \cdot d \cdot f$, sendo f a frequência da fonte de ondas e v a velocidade que se desejava determinar (velocidade do som no gás que está no interior do tubo).



Hora de estudo

1. Sendo a intensidade sonora mínima audível de 10^{-12} W/m^2 , qual o nível sonoro em decibels de um som cuja intensidade é de 10^{-8} W/m^2 ?
2. (UFF - RJ) Ondas sonoras emitidas no ar por dois instrumentos musicais distintos, I e II, têm suas amplitudes representadas em função do tempo pelos gráficos abaixo.



A propriedade que permite distinguir o som dos dois instrumentos é:

- a) o comprimento de onda;
- b) a amplitude;
- c) o timbre;
- d) a velocidade de propagação;
- e) a frequência.

3. (PUC Minas. - MG) Analise as afirmações a seguir:

- I. Dois instrumentos musicais diferentes são acionados e emitem uma mesma nota musical.
- II. Dois instrumentos iguais estão emitindo uma mesma nota musical, porém, com volumes (intensidades) diferentes.

- III. Um mesmo instrumento é utilizado para emitir duas notas musicais diferentes.

Assinale a principal característica que difere cada um dos dois sons emitidos nas situações I, II e III respectivamente.

- a) Amplitude, comprimento de onda e frequência.
- b) Frequência, comprimento de onda e amplitude.
- c) Timbre, amplitude e frequência.
- d) Amplitude, timbre e frequência.

4. (UFPR)

Quando uma pessoa fala, o que de fato ouvimos é o som resultante da superposição de vários sons de frequências diferentes. Porém, a frequência do som percebido é igual à do som de menor frequência emitido.

Em 1984, uma pesquisa realizada com uma população de 90 pessoas, na cidade de São Paulo, apresentou os seguintes valores médios para as frequências mais baixas da voz falada: 100 Hz para homens; 200 Hz para mulheres e 240 Hz para crianças.

(TAFNER, Malcom Anderson. Reconhecimento de palavras faladas isoladas usando redes neurais artificiais. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.)

Segundo a teoria ondulatória, a intensidade I de uma onda mecânica se propagando num meio elástico é diretamente proporcional ao quadrado de sua frequência para uma mesma amplitude. Portanto, a razão I_1/I_2 entre a intensidade da voz feminina e a intensidade da voz masculina é:

- a) 4,00
- b) 0,50
- c) 2,00
- d) 0,25
- e) 1,50

5. (UFMA) Um pelotão marchando atravessa uma ponte extensa de madeira. Observou-se que, antes de terminar a travessia, a ponte ruiu. A causa foi:

- a) a altura do som somada ao timbre;
- b) a reverberação muito intensa sobre a madeira;
- c) o efeito da ressonância;
- d) o fenômeno do eco formado entre a ponte e o solo;
- e) a interferência sonora.

6. (FURG – RS) O sonar é um aparelho capaz de emitir ondas sonoras na água e captar seus ecos (ondas refletidas), permitindo, com isso, a localização de objetos sob a água. Sabendo-se que o sonar de um submarino recebe as ondas refletidas pelo casco de um navio 6 segundos após a emissão das mesmas e que a velocidade de propagação do som na água do mar é 1 520 m/s, determine a distância entre o submarino e o navio. As velocidades do submarino e do navio são desprezíveis se comparadas à velocidade do som.

- a) 1 520 m
- b) 3 040 m
- c) 4 560 m
- d) 6 080 m
- e) 9 120 m

7. (UEL – PR) Considere as afirmações a seguir.

- I. O eco é um fenômeno causado pela reflexão do som num anteparo.
- II. O som grave é um som de baixa frequência.
- III. Timbre é a qualidade que permite distinguir dois sons de mesma altura e intensidade emitidos por fontes diferentes.

São corretas as afirmações:

- a) I, apenas;
- b) I e II, apenas;
- c) I e III, apenas;
- d) II e III, apenas;
- e) I, II e III.

8. (JFSM – RS) Um ouvinte, ao aproximar-se de uma fonte sonora em repouso, perceberá _____ da onda sonora _____.

- a) a frequência; inalterada;
- b) a frequência; aumentada;
- c) a frequência; diminuída;
- d) o comprimento de onda; aumentado;
- e) o comprimento de onda; inalterado.

9. Um carro de polícia, com a sirene ligada, movimenta-se em relação a uma pessoa que se encontra parada na rua. Sendo f a frequência do som emitido pela sirene, pode-se dizer que a frequência percebida pela pessoa será:

- a) igual a f , independentemente de o movimento ser de aproximação ou de afastamento;
- b) menor que f se houver afastamento entre eles;
- c) menor que f se houver aproximação entre eles;

d) maior que f se houver afastamento entre eles;

e) nula, independentemente de o movimento ser de aproximação ou de afastamento.

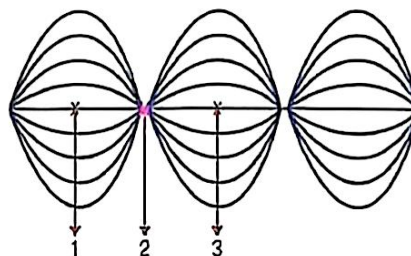
10. (PUCPR) Um automóvel com velocidade constante de 72 km/h se aproxima de um pedestre parado. A frequência do som emitido pela buzina é de 720 Hz. Sabendo-se que a velocidade do som no ar é de 340 m/s, a frequência do som que o pedestre irá ouvir será de:

- a) 500 Hz
- b) 680 Hz
- c) 720 Hz
- d) 765 Hz
- e) 789 Hz

11. Quais fenômenos a seguir são indispensáveis para que ocorra a formação de ondas estacionárias em cordas?

- a) Refração e reflexão.
- b) Difração e interferência.
- c) Polarização e difração.
- d) Reflexão e interferência.
- e) Ressonância e reverberação.

12. (UFF – RJ) A figura abaixo representa um modo de vibração de uma corda presa nas suas extremidades.



Marque a alternativa que quantifica corretamente as velocidades dos pontos 1, 2 e 3 da corda no instante em que ela passa pela configuração horizontal.

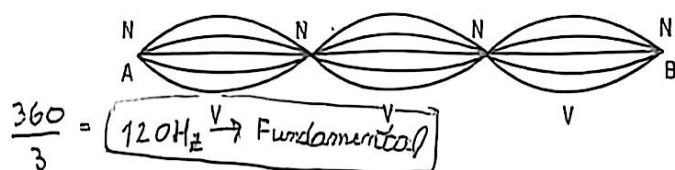
- a) $v_1 = v_2 = v_3 = 0$
- b) $v_1 = v_2 = v_3 \neq 0$
- c) $v_1 = -v_2 = v_3 \neq 0$
- d) $v_1 = -v_3 = 0; v_2 = 0$
- e) $v_1 = v_3 \neq 0; v_2 = 0$

13. (UECE) Uma corda de violão vibra de modo que, num dado instante, a onda estacionária tenha duas cristas e três nós. Considere que o comprimento da corda vibrante seja 60 cm. Nessa situação, é correto afirmar que o comprimento de onda desta onda estacionária na corda é, em cm,

- a) 20
- b) 60
- c) 180
- d) 30

Frequência igual.

14. (UFSCAR – SP) A figura representa uma configuração de ondas estacionárias numa corda. 360 Hz



A extremidade A está presa a um oscilador que vibra com pequena amplitude. A extremidade B é fixa e a tração na corda é constante. Na situação da figura, onde aparecem três ventres (V) e quatro nós (N), a frequência do oscilador é 360 Hz. Aumentando-se gradativamente a frequência do oscilador, observa-se que essa configuração se desfaz até aparecer, em seguida, uma nova configuração de ondas estacionárias, formada por:

- quatro nós e quatro ventres, quando a frequência atingir 400 Hz;
- quatro nós e cinco ventres, quando a frequência atingir 440 Hz;
- cinco nós e quatro ventres, quando a frequência atingir 480 Hz;
- cinco nós e cinco ventres, quando a frequência atingir 540 Hz.

15. (UECE) Um órgão é um instrumento musical composto por diversos tubos sonoros, abertos ou fechados nas extremidades, com diferentes comprimentos. Num certo órgão, um tubo A é aberto em ambas as extremidades e possui uma frequência fundamental de 200 Hz. Nesse mesmo órgão, um tubo B tem uma das extremidades aberta e a outra fechada, e a sua frequência fundamental é igual à frequência do segundo harmônico do tubo A. Considere a velocidade do som no ar igual a 340 m/s. Os comprimentos dos tubos A e B são, respectivamente:

- 42,5 cm e 31,9 cm.
- 42,5 cm e 63,8 cm.
- 85,0 cm e 21,3 cm.
- 85,0 cm e 42,5 cm.
- 85,0 cm e 127,0 cm.

16. Uma corda sonora tem comprimento de 40 cm e, ao ser tocada, emite som de frequência fundamental 270 Hz. Sendo a massa dessa corda de 0,36 g, calcule a força de tração a que ela está submetida.

17. (IFBA) Fisicamente, um violão é um conjunto de cordas vibrantes que, quando afinadas e tensionadas pela força correta, emitem um som cuja frequência corresponde ao primeiro harmônico da corda, também conhecido como som fundamental. Considere uma dessas cordas

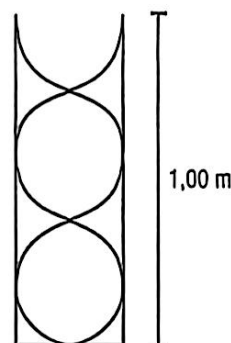
com densidade linear de 10^{-2} kg/m cuja parte vibrante é de 55 cm de comprimento, tensionada por uma força de 144 N. Observando os valores das frequências na tabela abaixo, qual nota, aproximadamente, essa corda emitirá?

Tabela de frequências do primeiro harmônico emitidas pelas cordas de um violão afinado

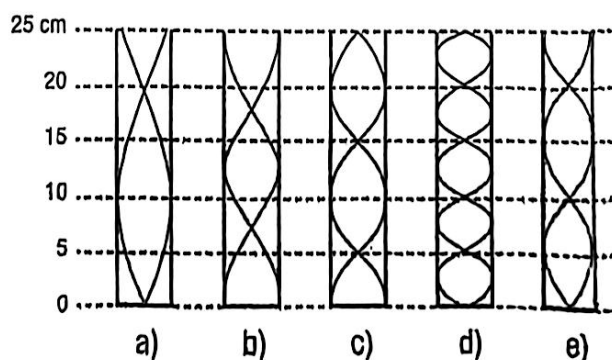
Corda	Nota	Frequência
1	Mi (E)	329,65 Hz
2	Si (B)	246,95 Hz
3	Sol (G)	196,00 Hz
4	Ré (D)	146,85 Hz
5	Lá (A)	110,00 Hz
6	Mi (E)	82,40 Hz

- Mi
- Si
- Sol
- Ré
- Lá

18. Um tubo sonoro fechado, como o da ilustração a seguir, emite um som com velocidade de 340 m/s. Determine o comprimento de onda e a frequência da onda sonora emitida.



19. (FUVEST – SP) Um músico sopra a extremidade aberta de um tubo de 25 cm de comprimento, fechado na outra extremidade, emitindo um som na frequência $f = 1700 \text{ Hz}$. A velocidade do som no ar, nas condições do experimento, é $v = 340 \text{ m/s}$. Dos diagramas a seguir, aquele que melhor representa a amplitude de deslocamento da onda sonora estacionária, excitada no tubo pelo sopro do músico é:



Química

Volume 9

